

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus oaxacana* Y *Pinus greggii* EN
AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA.**

POR

RUBEN ORTIZ MENDOZA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

DICIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



TESIS

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus oaxacana* Y *Pinus greggii* EN
AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA.**

POR

RUBEN ORTIZ MENDOZA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO.

DICIEMBRE, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus oaxacana* y *Pinus greggii* EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA
OAXAQUEÑA.


TESIS DE MAESTRÍA

Para obtener el grado de:
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

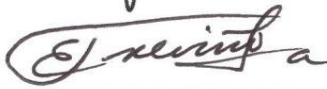
Por:

ING. RUBEN ORTIZ MENDOZA

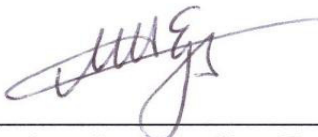
COMITÉ DE TESIS




Dr. Oscar A. Aguirre Calderón
Director



Dr. Eduardo J. Treviño Garza
Asesor



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Asesor



Dr. Martín Gómez Cárdenas
Asesor externo

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por aportar apoyo económico para la realización de mis estudios de Maestría.

A la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) por aceptarme como estudiante del Programa de Posgrado, y a todos los profesores e investigadores de la misma por los conocimientos compartidos en esta etapa de aprendizaje.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

A Dr. Ulises Diéguez Aranda y Juan Gabriel Álvarez del Instituto Politécnico Superior de la Universidad de Santiago de Compostela, España por su apoyo en el análisis de datos y sus enseñanzas.

A las comunidades de Magdalena Zahuatlán, perteneciente al distrito de Nochixtlán y Tlacotepec Plumas perteneciente a Coixtlahuaca, Oaxaca por permitirme realizar los trabajos de campo.

Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón por aceptar dirigir este trabajo de tesis, además de brindarme su amistad y asesoría incondicional en el trayecto de mi formación.

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza y Dr. Marco Aurelio Gonzales Tagle por formar parte del comité de tesis de la Maestría y por la amistad compartida y orientación para la realización del trabajo de investigación.

Al Dr. Martin Gómez Cárdenas por su apoyo en la realización del trabajo de tesis y por facilitar información de trabajos realizados.

A Rigoberto Gonzales, Angelina Bautista y Agustín por su gran amistad y apoyo en levantamiento de datos en campo.

A todos los compañeros de la Facultad por su amistad.

DEDICATORIA

A mis padres (Juana Mendoza y Santiago Ortiz Aguilar) y hermanas (Hilda Ortiz Mendoza, Edith Ortiz Mendoza y Pilar Ortiz Mendoza) por su apoyo y ánimos durante el transcurso de los dos años de preparación de la Maestría, que gracias a ellos fue posible lograr realizar la maestría la cual es un logro para ellos también.

A la memoria de mi abuela Dionisia Aguilar[†] quien fue una gran persona y quien admiré y admiro mucho, que mostró siempre estar de pie sin importar lo que pase.

A todos los compañeros y amigos de la Facultad por los momentos de alegría e inolvidables que compartimos durante dos años.

A todos mis tíos, tías, primos y primas, así como a todos aquellos que los consejos y ánimos durante el transcurso de la realización de la maestría.

A comunidad de Cabacua y los jóvenes por que sean una esperanza en el futuro de nuestra comunidad y romper el muro del temor en tocar nuevas puertas y seguir adelante.

INDICE

CONTENIDO	PAG.
RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
PRESENTACIÓN.....	15
CAPITULO I. RESEÑA DEL ANALISIS DE CRECIMIENTOS DE <i>Pinus oaxacana</i> Y <i>Pinus greggii</i> EN LA MIXTECA ALTA, OAXAQUEÑA, MÉXICO	16
1.1. Descripción del área de estudio.....	16
1.1.1. Magdalena Zahuatlán.....	16
1.1.2. Tlacotepec Plumas.....	17
1.2. Antecedentes del área de estudio	18
1.3. Descripción de las especies de estudio	21
1.4. Antecedentes de trabajos en las especies de estudio	22
CAPITULO II. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE <i>Pinus greggii</i> Y <i>Pinus oaxacana</i> EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA.	24
2.1. INTRODUCCIÓN.....	24
2.2. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.2.1. Crecimiento de los árboles.....	25
2.2.2. Crecimiento del diámetro y altura.....	26
2.2.3. Mejora genética de las especies forestales.....	27
2.2.4. Ensayos de procedencia	27
2.2.5. Análisis de crecimientos	28
2.2.6. Medidas repetidas en el tiempo	29
2.2.7. Diseños de bloques completamente aleatorizados	30
2.2.8. Interacción de factores	32

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
2.3.1. Obtención de datos	33
2.3.2. Parcela experimental.....	33
2.3.3. Medición de variables.....	35
2.3.4. Análisis de comparación de crecimientos	36
2.4. OBJETIVOS.....	37
2.5. HIPÓTESIS.....	37
2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
2.6.1. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE <i>Pinus greggii</i> EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA.....	37
2.6.1.1. Análisis de medidas repetidas	37
2.6.1.2. Análisis de la última medición por localidad	40
2.6.1.2.1. Altura	41
2.6.1.2.2. Diámetro Basal	42
2.6.1.2.3. Diámetro Normal.....	44
2.6.1.2.4. Diámetro de Copa.....	45
2.6.1.2.5. Área de Copa.....	46
2.4.1.2. Análisis conjunto de los dos localidades.....	48
2.4.1.2.1. Altura	48
2.4.1.2.2. Diámetro Basal	49
2.4.1.2.3. Diámetro Normal.....	50
2.4.1.2.4. Diámetro de Copa.....	51
2.4.1.2.5. Área de Copa.....	51
2.4.1.3. Análisis de correlación.....	52
2.4.1.4. Supervivencia	53

2.4.2. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE <i>Pinus oaxacana</i> EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA.....	54
2.4.2.1. Análisis de medidas repetidas	54
2.4.2.2. Análisis de la última medición por localidad	56
2.4.2.2.1. Altura	57
2.4.2.2.2. Diámetro Basal	58
2.4.2.2.3. Diámetro Normal.....	59
2.4.2.2.4. Diámetro de Copa.....	60
2.4.2.2.5. Área de Copa.....	61
2.4.2.3. Análisis conjunto de las dos localidades.....	62
2.4.2.3.1. Altura	63
2.4.2.3.2. Diámetro Basal	64
2.4.2.3.3. Diámetro Normal.....	64
2.4.2.3.4. Diámetro de Copa.....	64
2.4.2.3.5. Área de Copa.....	65
2.4.2.4. Análisis de correlación	66
2.4.2.5. Supervivencia	67
2.5. CONCLUSIONES	68
2.5.1. <i>Pinus greggii</i>	68
2.5.2. <i>Pinus oaxacana</i>	69
2.6. LITERATURA CITADA	69

LISTA DE CUADROS

CONTENIDO	PAG.
Cuadro 1. Análisis químicos de los suelos obtenidos después de 7 años de establecerse las plantaciones en las localidades de estudio.	20
Cuadro 2. Características ambientales presentes en el área de distribución natural de las procedencias de <i>Pinus greggii</i>	34
Cuadro 3. Características ambientales presentes en el área de distribución natural de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i>	34
Cuadro 4. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en <i>Pinus greggii</i> de las dos localidades en conjunto.	38
Cuadro 5. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en <i>Pinus greggii</i> por cada localidad evaluada.	41
Cuadro 6. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en altura de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.	42
Cuadro 7. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro basal de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.	43
Cuadro 8. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro normal de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	44
Cuadro 9. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro de copa de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	46
Cuadro 10. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en área de copa de las	

procedencias de <i>Pinus greggii</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	47
Cuadro 11. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en <i>Pinus greggii</i> de las dos localidades en conjunto.	48
Cuadro 12. Promedio de la altura y diámetros basal de las variedades de <i>Pinus greggii</i> de las dos localidades a 17 años de la plantación.	49
Cuadro 13. Promedio del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa de las variedades de <i>Pinus greggii</i> de las dos localidades a 17 años de la plantación.	50
Cuadro 14. Correlación de las características descriptivas del lugar de origen de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> con las variables evaluadas en dos sitios de plantación.....	52
Cuadro 15. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas del análisis de medidas repetidas en <i>Pinus oaxacana</i> de las dos localidades en conjunto.....	54
Cuadro 16. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en <i>Pinus oaxacana</i> por cada localidad evaluada.	57
Cuadro 17. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos en la altura de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.	58
Cuadro 18. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro basal de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	59
Cuadro 19. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro normal de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	60
Cuadro 20. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro de copa de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	61

Cuadro 21. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del área de copa de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> evaluadas en las dos localidades de estudio.....	62
Cuadro 22. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en <i>Pinus oaxacana</i> de las dos localidades en conjunto.	63
Cuadro 23. Promedio de la altura y diámetros en promedio de <i>Pinus oaxacana</i> en las dos localidades a 17 años de la plantación.....	63
Cuadro 24. Correlación de las características descriptivas del lugar de origen de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> con las variables evaluadas en dos sitios de plantación.	66

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	PAG.
Figura 1. Localización de las localidades de estudio.	17
Figura 2. Diagrama de representación de factores ambientales y genéticos que definen el desarrollo del fenotipo de un árbol.	28
Figura 3. Variación de crecimiento de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> y localidades a través del tiempo: a) Variación en Altura, b) Variación en Diámetro Basal.....	39
Figura 4. Variación de crecimiento de las procedencias de <i>Pinus greggii</i> y localidades a través del tiempo: a) Variación en Diámetro Normal, b) Variación en Diámetro de Copa, c) Variación en Área de copa.....	40
Figura 5. Variabilidad de la altura promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	42
Figura 6. Variabilidad del diámetro basal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	43
Figura 7. Variabilidad del diámetro normal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	45
Figura 8. Variabilidad del diámetro de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	45
Figura 9. Variabilidad del área de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	47
Figura 10. Variabilidad de la altura y diámetro basal promedio de las dos localidades evaluadas.....	50
Figura 11. Variabilidad del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa promedio de las dos localidades evaluadas.	51
Figura 12. Gráfico de variación de crecimiento de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> y localidades a través del tiempo: a) Variación en Altura, b) Variación en Diámetro Basal.	55

Figura 13. Gráfico de variación de crecimiento de las procedencias de <i>Pinus oaxacana</i> y localidades a través del tiempo: a) Variación en Diámetro Normal, b) Variación en Diámetro de Copa, c) Variación en Área de copa.....	56
Figura 14. Variabilidad de la altura promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	57
Figura 15. Variabilidad del Diámetro basal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	58
Figura 16. Variabilidad del Diámetro normal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	59
Figura 17. Variabilidad del Diámetro de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	61
Figura 18. Variabilidad del área de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.	62
Figura 19. Variabilidad de la altura y diámetro basal promedio de las dos localidades evaluadas.....	64
Figura 20. Variabilidad del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa promedio de las dos localidades evaluadas.	65

RESUMEN

ANÁLISIS DE PROCEDENCIAS DE *Pinus greggii* Y *Pinus oaxacana* EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA, OAXAQUEÑA

El análisis de procedencias proporciona información de aquellas que pueden adaptarse a condiciones de un lugar específico para un objetivo determinado. El objetivo del trabajo es conocer el crecimiento de 13 procedencias de *Pinus greggii* y 8 procedencias de *P. oaxacana* con un diseño de bloques completos al azar y 12 repeticiones, que fueron establecidos en 1997 en suelos degradados de Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán ubicados la Mixteca Alta de Oaxaca, México. Después de 17 años de la plantación se obtuvieron diferencias significativas ($P=0.05$) entre procedencias y localidades en crecimiento de altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa, donde el crecimiento en altura de *P. greggii* en Tlacotepec Plumas fue superior que Magdalena Zahuatlán (10.50 vs 7.18 m), así como en diámetro basal (18.28 vs 14.07 cm), diámetro normal (14.33 vs 10.55 cm), diámetro de copa (4.22 vs 3.48 m) y área de copa (15.03 vs 10.74 m²/arb), observando mayor crecimiento de las procedencias del centro del país, principalmente El Madroño, Qro., El Piñón, Hgo. y Zimapán, Hgo., mientras que *P. oaxacana* no presentó diferencias entre procedencias, y entre localidades se encontraron diferencias en los diámetros y área de copa, observando mayor crecimiento de altura en Magdalena Zahuatlán (10.29 vs 10.09 m), mayor crecimiento en Tlacotepec Plumas de diámetro basal (21.37 vs 19.50 cm), diámetro normal (17.36 vs 15.85 cm), diámetro de copa (5.07 vs 4.24 m) y área de copa (21.54 vs 15.1 m²/arb); asimismo, el crecimiento de las variables no fue consistente en el tiempo. En el crecimiento de las procedencias existe un efecto de ambiente*genotipo como es la latitud en la que se distribuyen las procedencias. En las plantaciones con objetivos de protección, la cobertura es de gran importancia para conocer el área protegida de la erosión.

Palabra clave: *Pinus greggii*, *Pinus oaxacana*, Procedencias, Localidades, Magdalena Zahuatlán, Tlacotepec Plumas.

ABSTRACT

PROVENANCES ANALYSIS OF *Pinus greggii* AND *Pinus oaxacana* IN DEGRADED ENVIRONMENTS OF THE MIXTECA, OAXAQUEÑA

The analysis of provenances proportion information of provenances that can adapt to conditions of a specific place for a specific objective. The objective of this study is determine the growth of 13 provenances of *Pinus greggii* and 8 provenances of *P. oaxacana* established whit a design randomized complete block and 12 repetitions that were established in 1997 in degraded soils and Magdalena Zahuatlán and Tlacotepec Plumas located the Mixteca Alta of Oaxaca, México. After 17 years of plantation was obtained significant differences ($P = 0.05$) between provenances and localities in height growth, basal diameter, normal diameter, crown diameter and crown area, where growth in height in Tlacotepec Plumas was higher than Magdalena Zahuatlán (10.50 vs 7.18 m) and in basal diameter (18.28 vs 14.07 cm), normal diameter (14.33 vs 10.55 cm) crown diameter (4, 22 vs 3.48 m) and crown area (15.03 vs 10.74 m²/arb) observing higher growth of the provenances from center of country, mainly El Madroño, Qro., El Piñón, Hgo., and Zimapán Hidalgo, while that *P. oaxacana* not showed differences between provenances, and between localities was showed differences in diameters and crown area only, with more height growth in Magdalena Zahuatlán (10.29 vs 10.09 m), more growth in Tlacotepec Plumas of basal diameter (21.37 vs 19.50 cm), normal diameter (17.36 vs 15.85 cm), crown diameter (5.07 vs 4.24 m) and crown area (21.54 vs 15.1 m²/arb), and also that the growth of variables they were not consistent over time. In the growth on the provenances exists an effect of environment*genotype as the latitude where the provenances are distributed, at the same time that the plantations with protection objectives the coverage is of great importance to know the area protregida of the erosion.

Key words: *Pinus greggii*, var. *australis*, var. *greggii*, Provenance, Localities, Magdalena Zahuatlán, Tlacotepec Plumas.

PRESENTACIÓN

En las últimas décadas la erosión de los suelos ha despertado el interés de la sociedad, buscando una solución a este problema, donde anualmente se pierden toneladas de este recurso, afectando la biodiversidad y los factores ambientales del entorno. Este proceso limita el crecimiento de plantas en el área erosionada, las cuales quedan expuestas al arreste del suelo, ya sea por el agua, el aire y otros factores. Con esta problemática se le ha dado gran importancia a la reforestación, plantando especies nativas de cada región, así como especies introducidas, dando mayor importancia a aquellas que tienen mejor adaptación y crecimiento en zonas erosionadas, donde la materia orgánica, nutrientes y agua son un limitante para el buen desarrollo de las plantas.

Para conocer las especies adecuadas para las reforestaciones se establecen ensayos de procedencias, con el fin de evaluar el crecimiento y conocer la que mejor se adapte a las condiciones de erosión del suelo para futuras plantaciones, no obstante, en la adaptación influyen los factores ambientales del lugar donde se establece el ensayo, como del lugar donde se distribuyen naturalmente las procedencias, así como el genotipo de las mismas, es decir, existe un factor ambiente x genotipo, obteniendo como resultado los rasgos fenotípicos del árbol. Al conocer la especie con mejor crecimiento en una zona de estudio, se considera también que la especie sea productora de residuos vegetales y tener una buena cobertura para proteger el suelo del arrastre de partículas por el viento y agua disminuyendo la erosión.

De acuerdo con la problemática, se realizó el presente trabajo en el cual se hace una descripción del área de estudio, así como de las especies de estudio, y una reseña de los trabajos realizados en el área de investigación y alrededores desde el establecimiento de los ensayos hasta la actualidad. Posteriormente se presentan los resultados del análisis de crecimiento mediante el ANOVA de bloques completos al azar, de las procedencias de *Pinus greggii* y *P. oaxacana* establecidas en las dos localidades y finalmente las conclusiones generales para las dos especies.

CAPITULO I

RESEÑA DEL ANALISIS DE CRECIMIENTOS DE *Pinus oaxacana* Y *Pinus greggii* EN LA MIXTECA ALTA, OAXAQUEÑA, MÉXICO

1.1. Descripción del área de estudio

El área de trabajo se encuentra ubicada en el estado de Oaxaca, en las localidades de Magdalena Zahuatlán, distrito de Nochixtlán, y Tlacotepec Plumas, distrito de Coixtlahuaca, ubicadas en la región de la Mixteca Alta Oaxaqueña, en las cuales se tienen plantaciones de *Pinus greggii* Engelm y *P. oaxacana* Mirov, con una separación de 58 km aproximadamente entre ambas localidades, ubicadas en las serranías de Nochixtlán y Peñoles, agrupadas en el Nudo Mixteco, en la provincia Mixteca Alta y subprovincias Sierras Centrales de Oaxaca y Sierra Sur de Puebla. La topografía predominante corresponde a lomeríos con pendiente de 25%, además de presentar características propias de las zonas interiores del centro y Sur del país al estar menos expuestas a la acción de los vientos húmedos del mar (Ruíz, 2002; SEMARNAT, 2004 y Valencia *et al.*, 2006).

1.1.1. Magdalena Zahuatlán

Esta localidad se ubica en las coordenadas 17° 24' 11" latitud Norte y 97° 12' 35" longitud Oeste (Figura 1) a 2160 msnm, con un clima templado semiseco y un periodo de 30 a 59 días con lluvias, manteniendo la humedad del suelo durante 6 meses; temperatura media anual de 15 °C a 16.9 °C, la temperatura más fría es de 6 °C, con una precipitación promedio de 420.8 a 650 mm anuales. El tipo de suelo es Luvisol crómico, la cual se caracteriza por tener una rica cantidad de arcilla, un pH de 8.12 a 8.17, materia orgánica de 2.181 a 2.68 %, contenido de P de 12,200 ppm, bajo contenido de K con 0.214 meq/100g, N con 0.494 meq/100g, alto contenido de Ca con 24.629 meq/100g, medio contenido de Mg con 1.679 meq/100g, un alto contenido de capacidad de intercambio catiónico de 27.302 meq/100g, muy alto porcentaje de saturación

de bases con 98.95 y un porcentaje de nitrógeno total de 0.130 que representa un nivel medianamente rico (García, 1988; Velasco, 2001; López y Sánchez, 2014).

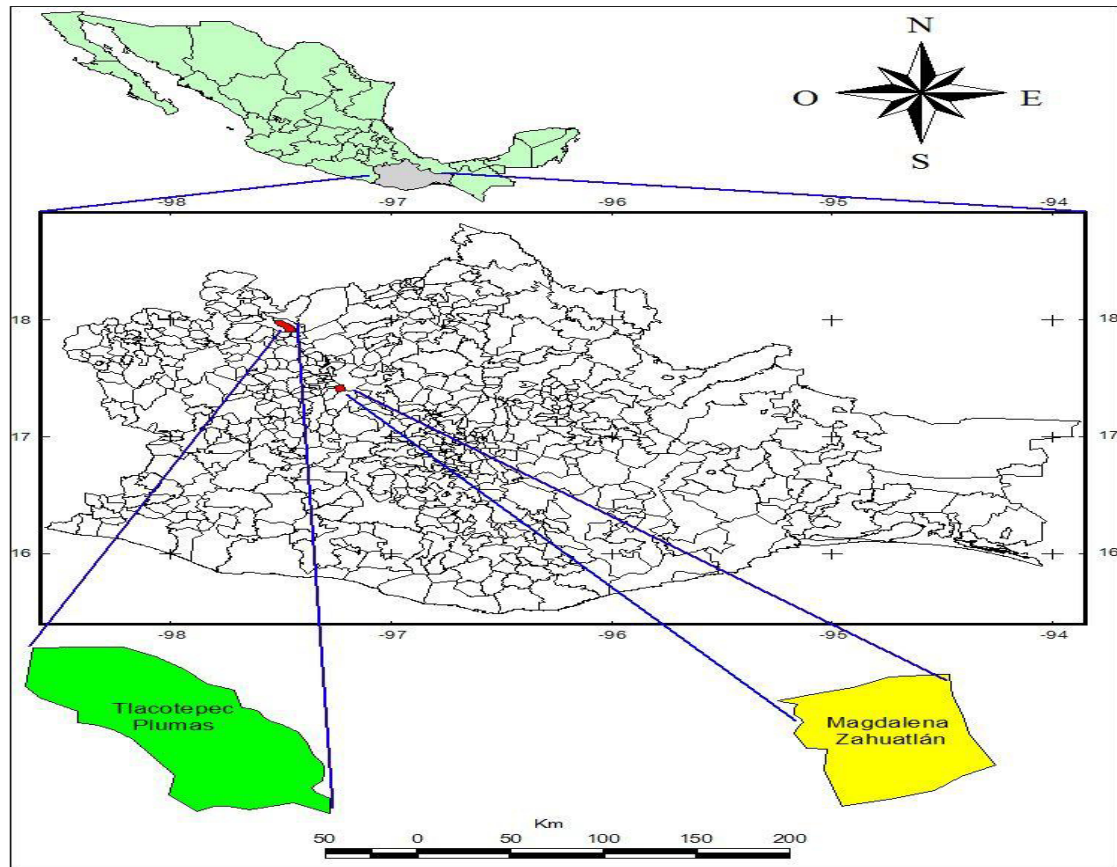


Figura 1. Localización de las localidades de estudio.

1.1.2. Tlacotepec Plumas

Tlacotepec Plumas se localiza a 17° 52' 00" latitud Norte y 97° 26' 18" longitud Oeste (Figura 1) a 2120 msnm, temperatura media anual de 15 a 16 °C, la temperatura del mes más frío es mayor de 5 °C y del mes más caliente es superior a 18 °C, donde predomina un clima semiseco templado con 60 a 89 días de lluvias principalmente en verano, promediando una precipitación de 519 a 614 mm anuales, manteniendo la humedad del suelo durante 7 meses. El tipo de suelo es Cambisol cálcico con una vegetación de pino-encino, un pH moderadamente alcalino de 7.66 a 7.92; materia orgánica rica de 2.80 a 3.116 %; contenido de P de 15,800 ppm; medio contenido de K con 0.686 meq/100g;

medio contenido de N con 0.626 meq/100g; alto contenido de Ca con 27,392 meq/100g; medio contenido de Mg con 1.490 meq/100g; alto contenido de capacidad de intercambio catiónico de 30.480 meq/100g, muy alto contenido de porcentaje de saturación de bases con 99.06 y un porcentaje de nitrógeno total de 0.195 que representa a un nivel rico (García, 1988; Velasco, 2001; Velasco *et al.*, 2012; López y Sánchez, 2014).

1.2. Antecedentes del área de estudios

Las plantaciones de estudio forman parte de un programa de investigación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para determinar especies y procedencias de semillas apropiadas para la rehabilitación ecológica de la región Mixteca Alta Oaxaqueña. El establecimiento se desarrolló con recursos financieros aportados por el Fondo del Sistema de Investigación Regional Benito Juárez del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT-FOSIBEJ), así como de la Fundación Produce Oaxaca, A. C., El Consejo de Administración de la UCF "Ixeto" proporcionó tierra de monte para la producción de la planta experimental, mientras que el Centro de Genética, A. C., dependiente de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, el Centro Nacional de Investigación Disciplinario del INIFAP, el antiguo Programa Forestal del Colegio de Postgraduados, la Coordinación de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, el Centro de Capacitación Forestal No. 2 de Atzompa y el Campo Experimental Rancho Nuevo del INIFAP, donaron semillas de las procedencias utilizadas en el proyecto. Todas las actividades se realizaron en las instalaciones del Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca y del Campo Experimental Mixteca Oaxaqueña, ambos del INIFAP con colaboración de los habitantes y autoridades de Tlacotepec Plumas y Magdalena Zahuatlán (Ruiz *et al.*, 1998).

Desde el establecimiento de las plantaciones se han realizado varios trabajos de investigación, destacando Ruíz *et al.* (1998), Velasco (2001), Ruíz

(2002), Valencia *et al.* (2012), Gómez *et al.* (2013), López y Sánchez (2014) y Guzmán (2015).

Velasco (2001) a 2.5 años del establecimiento determinó las diferencias en crecimiento en altura, diámetro basal, diámetro de copa, número de ciclos de crecimiento y supervivencia de *Pinus greggii* establecido en ambas localidades de estudio, encontrando diferencias entre localidades en todas las variables, excepto en la supervivencia. En Tlacotepec Plumas la supervivencia fue mayor (96 % vs 94 %), así como en todas la variables evaluadas (129 vs 107 cm en altura, 39 vs 30 mm en diámetro basal, 73 vs 62 cm en diámetro de copa, 9 vs 8 ciclos de crecimiento).

Ruíz (2002) evaluó los ensayos de *Pinus oaxacana* a 2.5 años de establecerse, obteniendo una alta supervivencia (>97%), con diferencias significativas en la altura total, diámetro basal, diámetro de copa y número de verticilos, destacando en altura Ixtlán de Juárez y Los Molinos; en diámetro basal sobresalió Ixtlán, en diámetro de copa resaltaron Xacañi, Los Molinos e Ixtlán; San Miguel Peras, Los Molinos, Rancho Nuevo y Aloapan presentaron mayor número de verticilos.

Velasco *et al.* (2012) a siete años de establecerse las plantaciones de *Pinus greggii* obtuvieron mayores crecimientos de las variables evaluadas en Tlacotepec Plumas que en Magdalena Zahuatlán (4.7 vs 3.7 m en altura, diámetro basal de 12.3 vs 9.7 cm, diámetro normal de 7.4 vs 4.8 cm, 12.3 vs 10.8 interverticilos); así, como en el ICA (0.73 vs 0.47 m en altura, 1.96 vs 1.51 cm en diámetro basal, 1.12 vs 1.03 interverticilos), al igual realizaron un análisis químico de los suelos en ambas localidades, los cuales se presentan en el Cuadro 1.

Gómez *et al.* (2013) evaluaron la plantación de *Pinus oaxacana* a 15 años de haberse establecido, obteniendo mayor sobrevivencia en Magdalena Zahuatlán que Tlacotepec Plumas (95.3 vs 87.0 %) donde la altura, diámetro basal y diámetro normal no presentaron diferencias entre las localidades; el diámetro de copa fue significativo con valores mayores en Tlacotepec Plumas. Mientras que las procedencias presentaron diferencias en altura en Magdalena

Zahuatlán, así como el diámetro de copa en Tlacotepec Plumas, concluyendo la existencia de una presión ambiental mayor en Magdalena Zahuatlán.

Cuadro 1. Análisis químicos de los suelos obtenidos después de 7 años de establecerse las plantaciones en las localidades de estudio. Tomada de Velasco *et al.* (2012).

Características	TP	Interpretación	MZ	Interpretación
Potencial de Hidrógeno	7.66	Ligeramente alcalino	8.12	Medianamente alcalino
Material orgánica (%)	2.8	Medianamente rico	2.68	Medianamente rico
Fósforo (mg kg ⁻¹)	16.5	Alto	13.1	Alto
Nitrógeno total (%)	0.16	Medianamente rico	0.08	Medianamente pobre
Potasio (Cmol (+) kg ⁻¹)	0.49	Medio	0.28	Bajo
Calcio (Cmol (+) kg ⁻¹)	25.56	Alto	23.81	Alto
Magnesio (Cmol (+) kg ⁻¹)	1.48	Medio	1.71	Medio
Capacidad de intercambio catiónico (Cmol (+) kg ⁻¹)	28.24	Alta	26.69	Alta
Saturación de bases %	99.32	Alto	98.8	Alto

TP= Valores en Tlacotepec Plumas; MZ= Valores en Magdalena Zahuatlán.

López y Sánchez (2014) analizaron el contenido de carbono orgánico e inorgánico en suelos bajo plantaciones de *Pinus greggii* y *P. oaxacana* en Magdalena Zahuatlán y Tlacotepec Plumas, obteniendo que en Tlacotepec Plumas la procedencia de *P. greggii* que aportó mayor carbono orgánico fue El Madroño, Qro. (27 ton/ha⁻¹) y El Piñón, Hgo. (66.98 ton/ha⁻¹) en carbono inorgánico; en Magdalena Zahuatlán la que aportó mayor carbono orgánico fue El Madroño, Qro. (27.55 ton/ha⁻¹) y Santa Anita, Coah. (89.9 ton/ha⁻¹) en carbono inorgánico. Para *P. oaxacana* en Tlacotepec Plumas fue mayor el carbono orgánico e inorgánico en Los Molinos Capulalpam (33.90 ton/ha⁻¹ y 69.17 ton/ha⁻¹), mientras que en Magdalena Zahuatlán presentó mayor carbono orgánico la misma localidad (24.36 ton/ha⁻¹) y Los Molinos Capulalpam (84.85 ton/ha⁻¹) en carbono inorgánico, concluyendo que se presenta mayor acumulación de carbono orgánico en *Pinus oaxacana*.

Guzmán (2015) ajustó diferentes modelos (h-d) en ambas especies, obteniendo un mejor ajuste de la ecuación propuesta por Prodan (1944) para el ajuste por localidad, y la ecuación Omule & MacDonald (1991) lo fue para h-d generalizada, es decir con los datos de las localidades en conjunto.

1.3. Descripción de las especies de estudio

Descripción botánica de *Pinus oaxacana* Mirov (según Perry, 1991).

Árbol de 25-45 m de altura y más de 1 m de diámetro; ramas casi horizontales formando una copa de punta redondeada; corteza gruesa profundamente fisurada y café grisáceo, ramillas delgadas, flexibles, algo ascendentes con la corteza lisa y café grisácea; bases de las brácteas no decurrentes; hojas en fascículos de 5 ocasionalmente 6, delgadas de 20-30 cm de longitud algo colgantes, vainas café claro de 25 mm de largo persistentes; conos duros de 10-14 cm de largo, escamas del cono gruesas, rígidas, duras, apófisis con proyecciones pronunciadas y desiguales de 20-22 mm de largo; semilla café oscura, de 7-10 X 6 mm, ala café claro, articulada, de 20-25 mm de longitud, los usos de su madera más frecuentes incluyen la elaboración de muebles, tarimas, redilas y otros derivados de madera aserrada.

Se le puede encontrar en el centro y sureste del país entre los paralelos 16° 20' a 19° 58' de Latitud Norte y meridianos 92° 20' a 100° de Longitud Oeste, entre los estados de Chiapas, Guerrero, México, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz en altitudes de 1500 a 3200 msnm en climas templadas y semicálidos con precipitación de 1,000 a 1,500 mm, soporta las heladas y se adapta a condiciones de clima templado y semicálido subhúmedo. La textura del suelo donde se desarrolla es franco-arenosa, franco-arcillo-arenosa, así como moderadamente pedregoso, drenados o bien drenados, con pH de 5.5 a 8.0 y de 5.5 a 7.5, puede adaptarse a suelos pobres. Varios autores emplean el sinónimo de la especie que es *P. pseudostrobus* var *apulcensis*.

Descripción botánica y distribución de *Pinus greggii* Engelm (según Perry, 1991).

Árbol de tronco recto y copa amplia e irregularmente redonda de 10 a 25 metros de alto y hasta 40 cm de diámetro, cuando el árbol es maduro la corteza de la parte inferior del tronco es gruesa, áspera, color café grisácea y dividida por profundas fisuras verticales en largas placas escamosas; la copa es abierta

y ramificada, presenta fascículos de 3 hojas, delgados a medio gruesos, erectos, 10-15 cm de longitud, verde brillante, márgenes finamente serrados, vainas de 5-10 mm de longitud; conos oblongo-cónicos, café amarillentos, oblicuos, ligeramente curvos, reflejados, de 10-14 cm de longitud, sésiles, tenazmente persistentes, seróticos, además de ser seróticos en grupos de 3-6, formando racimos en los verticilos de ramas; semillas pequeñas, café oscuras, de 5-6 mm de largo, ala de 15 mm de longitud, articulada y engrosada en su unión con la semilla.

Se distribuye en las coordenada 20° a 25° 40' Latitud Norte y 97° a 101° 20' Longitud Oeste, en la Sierra Madre Oriental del centro y norte de México, en los estados de Coahuila y Nuevo León, en la parte Noreste del país y en los estados de Querétaro, Hidalgo, Puebla, San Luis Potosí y Veracruz en la región Central del país de 1300 a 3,000 msnm; en las poblaciones del centro de México varía de 1450 a 1700 msnm y en el norte de 2300 a 2700 msnm con una precipitación media anual de 600 a 900 mm en el norte, y en las localidades de Hidalgo, Veracruz y Puebla de 1000 a 2000 mm. Temperatura media anual de 16 a 20 °C en diferentes localidades donde se pueden registrar máximas extremas de 45 °C y mínimas extremas de -9 °C, crece en suelos delgados de textura migajón areno-arcillosa, pedregoso castaño café rojizo y calizo, normalmente pobre en materia orgánica; con pH casi neutro.

1.4. Antecedentes de trabajos en las especies de estudio

Los ensayos de procedencias en México han iniciado entre 1968 a 1970 con el establecimiento de colecciones de pinos en regiones templadas, áridas y tropicales (Cárdenas, 2011) y en las últimas décadas los establecimientos con especies nativas fueron ganando importancia principalmente *Pinus* como son: *P. patula*, *P. greggii*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. leiophylla* y *P. maximinoi*, entre otros (Azamar *et al.*, 2000).

Salazar *et al.* (1999), López (1998), Donahue y López (1996), Dvorak *et al.* (1996) y Ramírez *et al.* (1997), mencionan que *P. greggii* presenta elevadas tasas de crecimiento en altura en edades jóvenes fuera de su ambiente natural,

además que las poblaciones del Norte de México presentan menor crecimiento que las del Sur.

Dvorak *et al.* (1996) evaluaron procedencias de *P. greggii* establecidas en Brasil, Colombia y Sudáfrica, con fuentes naturales del norte y centro de México, concluyendo que las diferencias en crecimiento en altura disminuyeron entre las fuentes del sur y norte de México, resultado que coincide con los obtenidos por Cigarrero (1994); Mas *et al.* (1995) y Sáenz *et al.* (2011) al comparar la variedad *greggii* distribuida en el norte del país y variedad *australis* distribuida en el centro del país.

En México se han desarrollado ensayos desde 1976 en el Campo Experimental Forestal “Barranca de Cupatitzio”, en Uruapan, Michoacán, con *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. greggii*, *P. teocote*, *P. lawsonii* y *P. herrerae* como un programa de mejoramiento genético forestal (Sáez *et al.*, 2011), y en la Comunidad Indígena de San Lorenzo, Valencia *et al.* (2006) evaluaron una plantación de *P. pseudostrobus* y *P. greggii* para conocer el crecimiento en altura, diámetro y supervivencia de las dos especies, establecidas con diferentes espaciamientos.

Para el caso específico de Oaxaca, Castellanos y Ruíz, (1993) evaluaron un ensayo de dos procedencias (El Madroño, Querétaro y Laguna Atezca, Hidalgo) en Magdalena Zahuatlán, Oaxaca, obteniendo después de cuatro años supervivencia sin diferencia significativa entre procedencias, ni dentro de la procedencia.

Gutiérrez *et al.* (2010), Mencionan que existe la posibilidad de convertir los ensayos de procedencia de *Pinus greggii* en huertos semilleros como es el caso del trabajo realizado en Terihuanes, Arteaga, Coahuila, ya que *P. greggii* es una de las especies que se ha adaptado en zonas erosionadas en diferentes partes de México, con condiciones limitantes de humedad y materia orgánica (López *et al.*, 2004).

Los estudios de ensayos de procedencias en *Pinus oaxacana* no han tenido mucha importancia en comparación de *P. greggii*, por lo tanto los estudios son muy pocos.

CAPITULO II

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus greggii* Y *Pinus oaxacana* EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

2.1. INTRODUCCIÓN

En México las coníferas son los componentes dominantes de la vegetación, creciendo desde el nivel del mar a más de 4000 msnm, la mayor diversidad se distribuye en bosques de la Sierra Madre Occidental y Sierra Madre Oriental, sin embargo su área de distribución está siendo afectada en 16 millones de ha aproximadamente ocasionando una mayor erosión, sedimentación en lagos, ríos, lagunas, disminución en la captación de agua, recarga de mantos acuíferos, inundaciones y reducción del potencial productivo por la pérdida de la fertilidad de suelos (Cardoza *et al.*, 2006; Genandt y Pérez, 2014).

El estado de Oaxaca es uno de los estados con mayor biodiversidad y endemismo del país, sin embargo, tiene superficies erosionadas que van de moderadas a muy altas, causadas por el aire, agua y el hombre, las cuales en los últimos años han aumentado considerablemente, afectando las propiedades del suelo y la disponibilidad de nutrientes y por lo tanto el crecimiento y desarrollo de las planta (Moreno, 2005, Contreras *et al.*, 2005, Guerrero *et al.*, 2010, Contreras *et al.*, 2003), la más afectada es la región de la Mixteca Oaxaqueña presentando un 59% de superficie con un alto y muy alto grado de erosión perdiendo 200 ton/ha/año de suelos (CEDICAM, 2007).

Con base en lo expuesto en párrafos anteriores, actualmente se realizan investigaciones en plantaciones de especies nativas y no nativas de la zona para la selección de fuentes de semillas considerando la adaptación del individuo a las condiciones climáticas y edafológicas del lugar, además ser productoras de residuos vegetales y tener capacidad de retener el suelo disminuyendo la erosión (Salvador, 2006), con mayor interés en la restauración

y protección del suelo. Ante esta problemática se diseñó el presente trabajo para comparar el crecimiento de diferentes procedencias de una especie nativa (*Pinus oaxacana* (Martínez) Mirov) y una especie introducida (*Pinus greggii*) en ambientes degradados de la localidad de Magdalena Zahuatlán y Tlacotepec Plumas, municipios de la Mixteca Alta, Oaxaqueña.

2.2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.2.1. Crecimiento de los árboles

La problemática de la erosión afecta ampliamente el crecimiento y desarrollo del árbol, ya que es un proceso complejo donde influyen diferentes condiciones externas del entorno, como la radiación, temperatura, CO₂, agua y el ciclo de nutrientes, que favorecen el aumento de los tejidos a través del tiempo produciendo la división celular, alongamiento del meristemo primario y engrosamiento de las células del meristemo secundario (Gadow *et al.*, 2007; Creciente, 2008; Imaña y Encinas, 2008; Klepac, 1983; Encinas, 2008).

Por lo tanto un buen crecimiento se debe además de las condiciones anteriores, a la tendencia intrínseca del potencial biótico del individuo, de su actividad fotosintética, absorción de nutrientes, procesos anabólicos y catabólicos, limitación de los recursos, el estrés, y el mecanismo de autorregulación del crecimiento y envejecimiento (Álvarez *et al.*, 2003; Cansino, 2006, Creciente, 2008, Liu y Ashton, 1995).

La importancia del suelo y las condiciones fisiográficas son determinantes de la calidad de estación en la que crece un árbol, por ejemplo, en clima templado los periodos climáticos repercuten en el crecimiento de los árboles, ya que crecen en el periodo que el clima es favorable, principalmente en primavera y verano y se detiene en invierno, por lo que el incremento anual se logra apreciar con facilidad en los pinos (Corvalán y Hernández, 2006; Diéguez *et al.*, 2003 y Cansino, 2006). Otro de los factores es la interacción entre individuos por competencia de luz y nutrientes, la cual puede ser bilateral o unilateral (Liu y Ashton, 1995 y Creciente, 2008), Por lo tanto el crecimiento es el resultado de la capacidad de adaptación de los individuos a condiciones ambientales del sitio

de plantación, respondiendo a las condiciones del nuevo ambiente, ya sea adaptarse o no adaptarse y morir (Salazar *et al.* 1999).

En suelos degradados, los pinos son las principales especies empleadas por ser económicos, sencillos de manejar en vivero, de fácil implantación, debido a que presentan adaptaciones estructurales y funcionales optimizando la economía del agua y mejorando el ambiente donde se establecen (Alía *et al.*, 1999).

2.2.2. Crecimiento del diámetro y altura

El crecimiento en diámetro es producto de la actividad del cambium durante el periodo vegetativo (Cansino, 2006) formando nuevos anillos de madera, sin embargo no es constante y sigue una curva sigmoideal típica respecto al tiempo teniendo un punto de inflexión y una asíntota horizontal (Klepac, 1983 y Kiviste *et al.*, 2002), donde la diferencia en el crecimiento se puede obtener comparando inventarios sucesivos, por muestras obtenidos con taladro y mediante análisis troncal (Klepac, 1983; Cansino, 2006; Imaña y Encinas, 2008).

En la altura del árbol el crecimiento se presenta por la actividad de los tejidos meristemáticos primarios de la guía principal (Cansino, 2006), igual que el diámetro presenta un crecimiento sigmoideal con un etapa de crecimiento lento a edades tempranas, seguida por un etapa de crecimiento rápido y finalmente otra de crecimiento lento hasta que el árbol alcanza su altura máxima (Imaña y Encinas, 2008); En especies tolerantes a la sombra, existe un periodo inicial más prolongado donde el crecimiento es más lento hasta que el árbol logra liberarse de la sombra (Diéguez *et al.*, 2003).

En el crecimiento existen relaciones alométricas, ya que por lo regular a mayor diámetro mayor es la altura del árbol, la cual es representada por una curva logística (Cansino, 2006 y Klepac, 1983) permitiendo predecir la productividad mediante el índice de sitio (Diéguez *et al.*, 2009). Por lo tanto evaluar el crecimiento de una plantación permite conocer la dinámica de desarrollo y el rendimiento a una edad determinada y con esto identificar

estrategias de manejo para optimizar tasas de crecimiento que satisfagan los objetivos de producción predefinidos, estimar fechas y actividades de cosecha, así como planificar actividades de protección y cultivo (Torres y Magaña, 2001)

Para conocer el crecimiento se consideran variables adicionales que permiten estimar el crecimiento como las variables dasométricas típicas (diámetro normal y altura) que son indispensables para determinar existencias; sin embargo, en ocasiones se utiliza el diámetro de copa, clase de copa, diámetro de tocón, altura de fuste limpio, entre otras (Benavides *et al.*, 2005).

2.2.3. Mejora genética de las especies forestales

Con la problemática del crecimiento de los árboles se recurre a la genética forestal para enfrentar la grave situación de deforestación que se está viviendo en el mundo por medio de dos vías: la conservación de la diversidad genética de especies en riesgo de desaparecer, y el mejoramiento genético para obtener árboles y/o bosques mejores, más productivos, genéticamente diversos, adaptados y adaptables, que proporcionen material de reproducción que es uno de los fines de un programa de mejora, y obtener individuos que puedan sobrevivir en condiciones de sequía, con altos contenidos de contaminantes, que fijen terrenos degradados, etc. Se seleccionan aquellas plantas con las mejores características para obtener plantas que se adapten a las necesidades humanas (Alía *et al.*, 1999; White, *et al.*, 1997 y Fita *et al.*, 2008).

2.2.4. Ensayos de procedencia

Es la búsqueda de árboles de rápido crecimiento y que se adapten a un lugar determinado, para el caso de plantaciones se procuran especies y variedades de diferentes procedencias (ensayos de procedencia) que produzcan semillas para repoblaciones futuras, y seleccionar los mejores genotipos teniendo como objetivo aumentar la adaptabilidad de las especies en los sitios de plantación y por lo tanto la sobrevivencia, el crecimiento, resistencia a enfermedades y la calidad del producto final de los árboles de ser el caso (DFSC, 1995; Salazar y Boshier, 1989), sin embargo, este proceso es a largo

plazo y para obtener semillas de las mejores procedencias es necesario esperar la primera producción.

Para conocer el crecimiento de las plantaciones con fines de selección de mejores procedencias se realizan mediciones continuas en los mismos árboles a la misma altura, la misma posición en el fuste, con el mismo instrumento y en la misma época del año (Cansino, 2006; Imaña y Encinas, 2008), estas mediciones proporcionarán información del potencial productivo de las especies y las posibilidades de adaptación a condiciones ambientales específicas en el sitio de plantación.

En los ensayos influye la variación genética en diferentes niveles: ya sea entre especies, entre regiones geográficas, entre rodales y entre individuos y lo más importante es la variación del ambiente y el genotipo, es decir, que las características visibles de un árbol son el resultado del componente heredable (genético) y el medio en el que crece (ambiente) (Zitácuaro y Aparicio, 2004; Salazar y Boshier, 1989; DFSC, 1995 y Climent *et al.*, 2002), como se observa en la Figura 2.

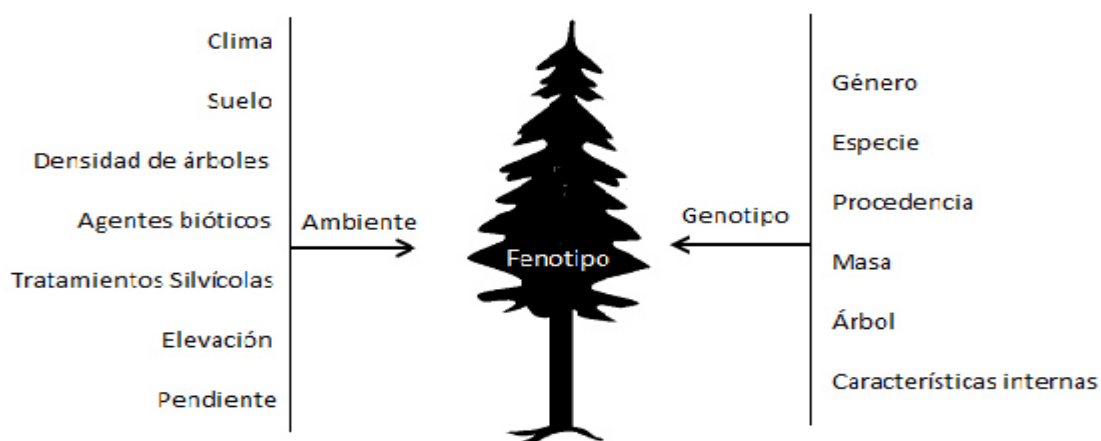


Figura 2. Diagrama de representación de factores ambientales y genéticos que definen el desarrollo del fenotipo de un árbol.

2.2.5. Análisis de crecimientos

Para el análisis de un ensayo de procedencia se requiere la medición de una o más variables en una misma unidad experimental en diferentes tiempos de interés, conocidas como medidas longitudinales o medidas repetidas, las

cuales se utilizan en análisis por modelos mixtos, la cual tienen mayor precisión para estimar los parámetros, mejorando la potencia de la prueba y reduciendo el tamaño de la muestra. Sin embargo la selección de modelo mixto va a depender de las características del experimento realizado y de los objetivos del trabajo, debido a que este modelo se utiliza principalmente para describir las relaciones entre una variable de respuesta y datos de varianza que están agrupados con uno o más factores (Gómez *et al.*, 2012; Carrero, *et al.*, 2008; Belzarini *et al.*, 2005; Pinheiro y Bates, 2000). Otro de los métodos es realizar un ANOVA en donde se deben definir los factores aleatorios y fijos de los tratamientos; al igual que el modelo mixto, este análisis se puede realizar con medidas longitudinales o a una edad específica (Peña, 2002).

2.2.6. Medidas repetidas en el tiempo

Las mediciones repetidas a través del tiempo tienen como objetivo examinar y comparar las tendencias en el tiempo de las respuestas de los tratamientos, las cuales pueden involucrar comparaciones de tratamientos en un tiempo específico o promediando todos los tiempos, así como comparar los tiempos para un tratamiento específico o promediando todos los tratamientos, además proporcionan mayor precisión en la estimación de parámetros del modelo de análisis mejorando la potencia de prueba y reduciendo el tamaño de la muestra, generando una estimación de varianza de error experimental (Correa, 2004, Balboa, 2005, Gómez *et al.*, 2012, Carrero, *et al.*, 2008, Belzarini *et al.*, 2005, Carbonell, 1995).

Hay que considerar ser cuidadosos al realizar las mediciones en el mismo individuo en todas las mediciones. Cuando las mediciones se realizan en un tiempo cercano se puede originar una correlación en las medidas y las varianzas pueden cambiar frecuentemente con el tiempo, provocando una deficiencia en la precisión y capacidad de predicción de los modelos ajustados (Carrero *et al.* 2008, Correa, 2004, Duran *et al.*, 2005).

El análisis de mediciones repetidas tiene tres enfoques: a) Análisis separados en cada momento de tiempo: en el cual se realiza una comparación

de los tratamientos de manera independiente en cada uno de los tiempos evaluados; b) Análisis de varianza univariado: es el más usado en comparaciones entre tiempos, teniendo en cuenta que el análisis de varianza es válido si se cumple la condición de simetría compuesta, es decir, que los errores estén correlacionados y que tengan la misma varianza; c) Ajuste de la estructura de covarianza, mediante modelos mixtos: Incluye los efectos fijos y efectos aleatorios, ajustando la estructura de covarianza y la estimación de errores estándar adecuados para cada comparación (Correa, 2004, Carrero, *et al.*, 2008; Pinheiro y Bates 2000).

Para el análisis de medidas repetidas, las unidades experimentales consideran un factor aleatorio y el tiempo como un factor fijo, ya que al realizar mediciones sobre el mismo sujeto implica que no es posible aleatorizar el tiempo, por lo que las medidas tomadas sobre un mismo individuo están correlacionadas no cumplimento el supuesto de independencia de errores. Esta metodología permite analizar de forma correcta y eficiente los datos de los experimentos mediante el modelo de estructuras de covarianzas considerando las correlaciones entre medidas repetidas y la presencia de varianza heterogéneas (Carrero *et al.*, 2008; Gómez *et al.*, 2012 y Correa, 2004).

2.2.7. Diseños de bloques completamente aleatorizados

Este tipo de diseño es el más empleado en ensayos de procedencias por ser homogéneo, es decir, en cada bloque se tiene una representación con el mismo número de individuos de las procedencias a evaluar, por lo tanto el diseño presenta j tratamiento y n unidades experimentales agrupados en b bloques de tamaño $k = j$, donde las unidades de un mismo bloque son semejantes y las unidades en bloques distintos son sustancialmente diferentes, además las $k = j$ de cada bloque son asignadas a los tratamientos al azar, donde cada tratamiento se aplica a una única unidad experimental por bloque (Pardos, 1988; Pinheiro y Bates 2000).

Varios autores como Pinheiro y Bates (2000), White *et al.* (2007), Peña (2002) y Gómez y Gómez (1984) señalan modelos matemáticos a utilizar en

análisis de dos y tres factores, así como la interacción de éstas en el ámbito forestal y agricultura. Para analizar dos efectos principales se emplea un modelo matemático [1] de dos vías de efectos principales.

Determinista

$$\underbrace{Y_{ijt}}_{\text{aleatorio}} = \underbrace{\mu}_{\text{aleatorio}} + \underbrace{P_j + B_k + \varepsilon_{jk}}_{\text{aleatorio}} \quad \text{con } \varepsilon_{jk} \text{ i. i. d. según una } N(0, \sigma) \dots\dots\dots [1]$$

Este modelo no muestra interacción entre los factores (bloques y tratamientos) y por lo tanto sin grados de libertad suficientes para estimar la varianza de error, por lo tanto el modelo que incluya la interacción de los efectos es el 2, el cual deberá contrastar el efecto interacción en primer lugar, sin embargo si resulta significativa no tiene caso contrastar la igualdad de los efectos tratamiento.

determinista

$$\underbrace{Y_{jk}}_{\text{aleatorio}} = \underbrace{\mu}_{\text{aleatorio}} + \underbrace{P_j + B_k + (PB)_{jk} + \varepsilon_{jk}}_{\text{aleatorio}} \dots\dots\dots [2]$$

Si se trabaja con tres factores se emplea un modelo completo de tres vías [3], en el cual se obtendrá la interacción entre factores.

determinista

$$\underbrace{Y_{ijk}}_{\text{aleatorio}} = \underbrace{\mu}_{\text{aleatorio}} + \underbrace{L_i + P_j + B_k + (LP)_{ij} + (LB)_{ik} + \varepsilon_{ijk}}_{\text{aleatorio}} \dots\dots\dots [3]$$

de modo que para todo $i = 1, \dots, a$, $j = 1, \dots, b$ y $k = 1, \dots, c$ se verifica:

$$L_i \sim N(0, \sigma_L), P_j \sim N(0, \sigma_P), B_k \sim N(0, \sigma_B),$$

$$(LP)_{ij} \sim N(0, \sigma_{LP}), (LB)_{ik} \sim N(0, \sigma_{LB}),$$

Las variables L_i 's, P_j 's, B_k 's, $(LP)_{ij}$'s, $(LB)_{ik}$'s, son mutuamente independientes

Dónde: y_{ijk} = Valor de la observación en la i-ésima localidad, en el j-ésimo bloque de la k-ésima procedencia; μ = Efecto de la media general; L_i = Efecto de la i-ésima localidad; P_j = Efecto de la j-ésima procedencia; B_k = Efecto del k-ésimo bloque; LP_{ij} = Efecto de la interacción entre la i-ésima localidad y la j-ésima procedencia; LB_{ik} = Efecto de la interacción entre la i-ésima localidad y el k-ésimo bloque; PB_{jk} = Efecto de la interacción entre la j-ésima procedencia y el k-ésimo bloque; $(LPB)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre la i-ésima localidad, la j-ésima procedencia y el i-ésimo bloque; ε_{ijk} = Efecto de la interacción entre el j-ésimo bloque, de la i-ésima localidad, la j-ésima procedencia y el i-ésimo bloque

Para implementar estos modelos y calcular las estimaciones de los cuadrados medios es importante conocer si los factores de los modelos son fijos o aleatorios ya que esto define la diferencia en la estimación de los cuadrados medios y por lo tanto en la prueba de F de significancia. Los fijos corresponden a aquellos cuyos niveles se han elegido de forma precisa y concreta y los aleatorios son aquellos donde los niveles se han elegido al azar como se mencionó anteriormente, recordando que lo que interesa es estudiar el efecto genético de dicho factor. Al presentarse significancia en la prueba de F es obligatorio realizar la comparación de medias de estos niveles (recordar que para comparar dos medias se emplea la t de Student). Para comparar más de dos niveles de un factor o más de un factor se realiza la prueba de Tukey, diseñada para captar una diferencia, contrastando la media más alta y la más baja (Pardos, 1988).

2.2.8. Interacción de factores

Si los efectos de los factores no son independientes es importante realizar un estudio más profundo para conocer la interacción entre los factores (Carbonell, 1995). Cuando la interacción entre tratamientos y tiempo resulta significativa indica que las diferencias entre tratamientos no se mantienen a lo largo del tiempo y será necesario realizar un análisis de efectos simples, es decir, comparar los tratamientos en tiempos específicos, en caso de tener una interacción entre tiempo y tratamiento no significativo tendrá sentido el análisis de los efectos principales significativos (Correa, 2004).

Existen dos tipos de interacciones, las cualitativas, las cuales se producen cuando los niveles de los factores no siguen la misma tendencia del resto de factores, y las cuantitativas que se producen cuando existe tendencia evolutiva de los niveles de factores (Pardos, 1988).

Una interacción de genotipo x ambiente se refiere a la variedad en genotipo de un ambiente a otro, es decir, hay un cambio de las características genotípicas o que no son constantes en el entorno, pero cuando una especie es favorecida al distribuirse mayormente en un área, implica que la interacción de la especie con el ambiente es mínima dentro del área (Fita *et al.*, 2008, White *et al.*, 2009).

2.3. MATERIALES Y METODOS

2.3.1. Obtención de datos

Para obtener los datos se trabajó con dos localidades (Magdalena Zahuatlán y Tlacotepec Plumas), en las cuales está establecida una parcela experimental de *P. greggii*, especie introducida en la región y una parcela de *P. oaxacana*, especie nativa de la zona, con una distribución tresbolillo a un espaciamiento de 3 m entre plantas e hileras y a curva de nivel, en las cuales se realizó la medición de variables de acuerdo a los objetivos propuestos.

2.3.2. Parcela experimental

Las parcelas tienen un diseño de 12 bloques completos al azar (repetición); la parcela de *P. greggii* se compone de 13 procedencias (6 procedencias de *P. greggii* var. *greggii* que se distribuye naturalmente en el norte de México y 7 de *P. greggii* var. *australis* que se distribuyen en el centro del país), de las cuales 5 procedencias son del estado de Coahuila, una de Nuevo León, 2 de Querétaro y 5 de Hidalgo (Cuadro 2).

La parcela de *P. oaxacana* está integrada por 8 procedencias distribuidas naturalmente en el sur del país, principalmente del estado de Oaxaca y una de Chiapas (Cuadro 3), de las cuales tres son de la Mixteca Alta Oaxaqueña

(Tlacotepec Plumas, Xacañi y Magdalena Zahuatlán), donde las precipitaciones son bajas y los suelos tienen un pH alto.

Cuadro 2. Características ambientales presentes en el área de distribución natural de las procedencias de *Pinus greggii*.

Procedencia	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	Pptn. (mm)	pH de suelo
Puerto Los conejos, Coah.	25° 28'	100° 34'	2450	16	600	6.0
Santa Anita, Coah.	25° 27'	100° 34'	2500	16	600	6.8
Puerto San Juan, Coah.	25° 25'	100° 33'	2650	16	600	6.1
Los Lirios, Coah.	25° 23'	100° 34'	2400	16	600	7.4
Jamé, Coah.	25° 21'	100° 36'	2450	16	600	7.2
Ejido 18 de Marzo, N.L.	24° 56'	100° 10'	2100	15	650	7.1
El Madroño, Qro.	21° 16'	99° 10'	1650	17	737	4.5
Tres Lagunas, Qro.	21° 20'	90° 08'	-----	17	722.8	----
El Piñón, Hgo.	20° 56'	99° 12'	1830	17	700	6.2
Laguna Atezca, Hgo.	20° 49'	98° 46'	1330	20	1438	4.5
Molango, Hgo.	20° 48'	98° 46'	1200	17	1750	4.4
Xichicoatlán, Hgo.	20° 47'	98° 40'	1700	17	1625	4.5
Comunidad Durango, Hgo.	20° 46'	99° 23'	1850	17	1100	6.0

Cuadro 3. Características ambientales presentes en el área de distribución natural de las procedencias de *Pinus oaxacana*.

Procedencia	Latitud (N)	Longitud (O)	Altitud (msnm)	Temp. (°C)	Pptn. (mm)	pH de suelo
Tlacotepec Plumas, Oax.	17° 51'	97° 26'	2160	16	614	8.8
Xacañi, Oax.	17° 29'	97° 23'	2350	14	815	8.7
San Miguel Aloapan, Oax.	17° 25'	97° 41'	2250	14	1020	6.5
Magdalena Zahuatlán, Oax.	17° 22'	97° 12'	2150	15	650	8.3
Ixtlán de Juárez, Oax.	17° 21'	96° 29'	2200	14	1000	5.6
Los Molinos, Capulalpam, Oax.	17° 19'	96° 27'	2000	16	1100	5.7
San Miguel Peras, Oax.	16° 51'	97° 01'	2250	15	1050	6.0
Rancho Nuevo, Chis.	16° 45'	92° 39'	2170	14	1238	5.6

2.3.3. Medición de variables

Desde el establecimiento de los ensayos se han realizado varias mediciones en *Pinus greggii* (Diciembre, 1997; Diciembre, 1999; Diciembre, 2012), y en *P. oaxacana* (Diciembre, 1997; Diciembre, 2012). Para tener datos recientes se realizó una medición en Julio del 2014 a 17 años de establecerse las plantaciones, siendo cuidadoso de medir los mismos árboles de mediciones anteriores. En *P. greggii* se midieron los tres árboles centrales de una unidad experimental de 9 plantas, y en *P. oaxacana* se midieron dos árboles centrales de una unidad experimental de 4 plantas.

La medición de la altura se realizó para caracterizar el estado de cada procedencia, la cual se midió teniendo en cuenta la distancia vertical que existe entre el nivel del suelo y el extremo superior del árbol utilizando una pistola Haga. Asimismo, se midió el diámetro basal a 10 cm del suelo utilizando una cinta métrica, teniendo en cuenta que es el diámetro del tronco representativo que soporta el árbol cerca del suelo, del cual se obtuvo el valor de la circunferencia y después se dividió por el valor π , para obtener el diámetro basal.

El diámetro normal se midió a una altura de 1.30 m sobre el nivel del suelo, teniendo en cuenta que esta variable es sensitiva a los cambios ambientales y a la densidad del rodal, además de estar relacionada con la altura del árbol, la biomasa del árbol y el tamaño de copa. Se empleó una cinta métrica para obtener la circunferencia y posteriormente el valor de diámetro normal.

El diámetro de copa representa la longitud de las ramas comprendidas de un extremo a otro en direcciones Norte-Sur y Este-Oeste, se midió con una cinta métrica para integrar un promedio de ambas mediciones y obtener el área considerando una proyección circular. La sobrevivencia se obtuvo al ir midiendo las variables anteriores y notar la existencia o ausencia de los individuos y para la edad se tienen registros del año en que se realizó la plantación.

2.3.4. Análisis de comparación de crecimientos

Para el análisis se utilizó el programa R, empleando la librería agricolae versión 1.2-3 (Mendiburu, 2015), la cual se aplica en diseños experimentales, especialmente para los experimentos de reproducción agrícola y vegetal, otra librería empleada fue lattiice Version 0.20-33 (Sarkar, 2015) que sirve para visualizar los datos gráficamente y obtener las medias, desviación estándar, análisis de varianza y comparación de medias del crecimiento en altura, diámetro basal, diámetro normal y diámetro copa entre procedencias y entre localidades respecto a la última medición (2014); Se realizó también un análisis en base a las medidas repetidas, es decir, considerando todas las mediciones realizadas desde el establecimiento de los ensayos.

Para el análisis se emplearon las tres mediciones de cada procedencia en cada bloque para tener la variación existente entre bloques y reducir errores para posteriormente conocer el efecto de la localidad (sitios), procedencias y la interacción genotipo-ambiente (procedencia-localidad), empleando el modelo para bloques completos al azar de dos vías con interacción [2] para el análisis de cada localidad y el modelo de tres vías para el análisis de las dos localidades en conjunto [3], teniendo en cuenta que la interacción se da cuando el sitio no afecta todas las procedencias de la misma manera, implicando que el comportamiento relativo de las procedencias difiere en ambientes diferentes y que la mejor procedencia de un sitio puede no ser la mejor en el otro.

Asimismo se realizó la prueba de comparación Tukey de medias al existir diferencias significativas entre procedencias y un análisis de correlación entre las variables consideradas en el trabajo. La supervivencia se evaluó en porcentaje, por lo que para ser analizado se transformó con la expresión $\arcsin(\sqrt{p})$, donde p son las proporciones de 0 a 1, y al ser transformados los valores están en el rango de 0 a 90 grados (Zar, 1999), y se recreó la curva de crecimiento de la altura y diámetro basal con datos de mediciones realizadas después del establecimiento de las plantaciones al ser las únicas variables que se midieron periódicamente desde el establecimiento de las plantaciones.

2.4. OBJETIVOS

General

Determinar el crecimiento en altura, diámetro basal, y diámetro de copa de 13 procedencias de *Pinus greggii* y 8 procedencias de *P. oaxacana* en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña.

Específicos

- Examinar y comparar las tendencias en el tiempo del crecimiento de procedencias de *Pinus greggii* y *P. oaxacana*.
- Comparar el crecimiento de *Pinus greggii* y *P. oaxacana* entre procedencias y localidades de acuerdo a la medición.

2.5. HIPÓTESIS

Existen diferencias entre los crecimientos de diversas procedencias de *Pinus greggii* y *P. oaxacana*, establecidas en ambientes degradadas de la Mixteca Oaxaqueña.

2.6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.6.1. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus greggii* EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

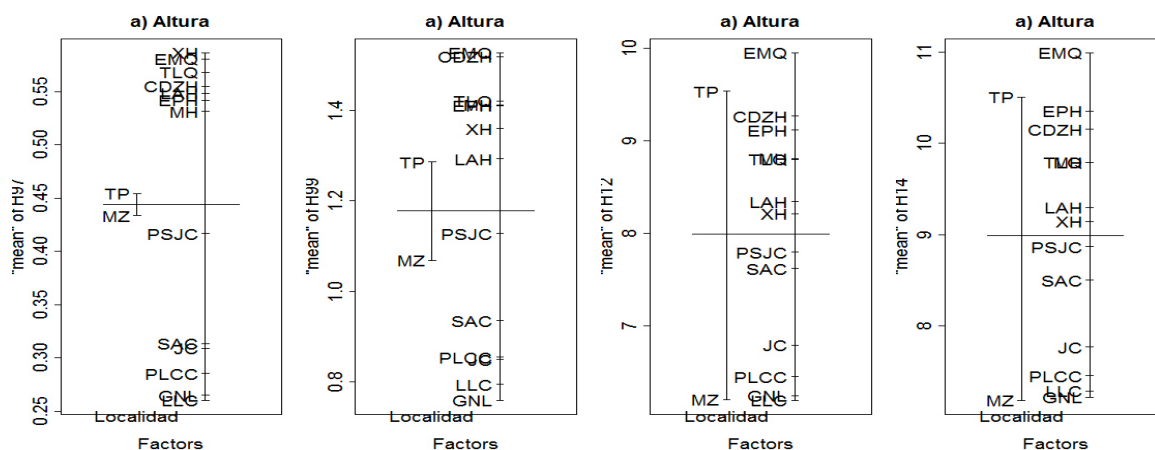
2.6.1.1. Análisis de medidas repetidas

En el análisis de medidas repetidas para la altura y diámetro basal se consideraron cuatro años (1997, 1999, 2012 y 2014) y para los dos últimos en diámetro normal, diámetro de copa y área de misma, obteniendo diferencias significativas ($P=0.05$) indicando que el crecimiento en los bloques, procedencias, localidades no fueron consistentes en el tiempo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en *Pinus greggii* de las dos localidades en conjunto.

Factores	H (Pr(>F)	DB	DN	DC	AC
		(Pr(>F)	(Pr(>F)	(Pr(>F)	(Pr(>F)
Tiempo	<0.0001	<0.0001	5.76e-07	0.335	0.092794
Tiempo*Bloque(Localidad)	<0.0001	<0.0001	1.67e-11	1.68e-05	0.000662
Tiempo*Procedencia	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tiempo*Localidad	3.62e-08	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Tiempo*Localidad*Procedencia	5.04e-08	0.000155	0.000799	0.0172	0.000236

Con el paso del tiempo se encontró variación en el crecimiento en altura y diámetro basal entre localidades, mientras que entre procedencias se observó claramente la diferencia entre las dos variedades de la especie, donde las procedencias de la var. *greggii* tienen crecimiento menor a la media general de las procedencias, ambas variedades empezaron a tener un gran diferencia desde 1997, sobre todo en la altura, y con el tiempo esta variabilidad va reduciendo, sin embargo es notable la mejor adaptación de la var. *australis* (Figura 3).



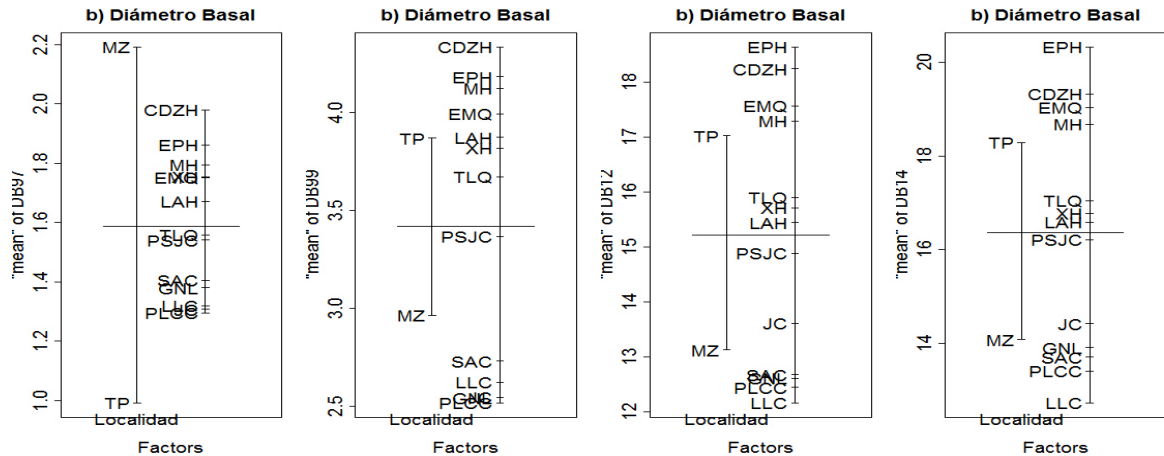
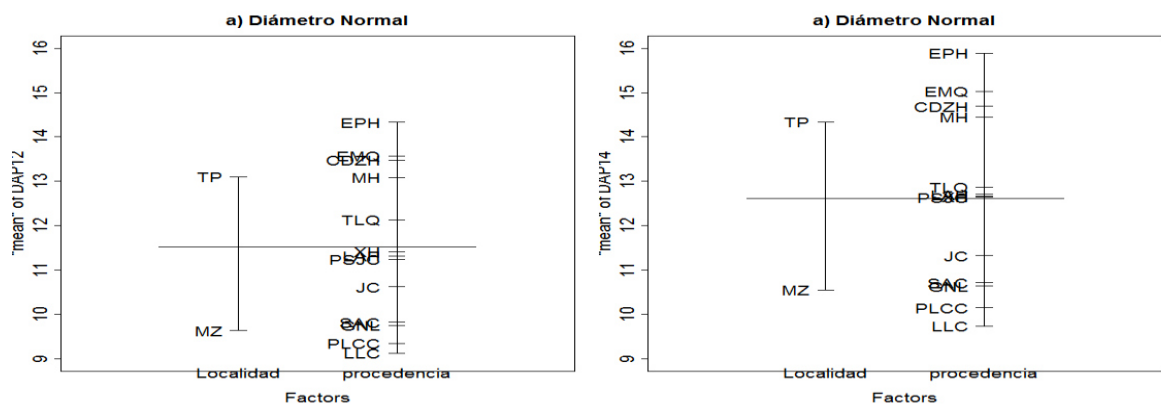


Figura 3. Variación de crecimiento de las procedencias de *Pinus greggii* y localidades a través del tiempo: a) Variación en Altura, b) Variación en Diámetro Basal.

El crecimiento de las procedencias probablemente fue afectado por las sequías en que el estado de Oaxaca en 2005, y en el país de 2006 a 2012 como lo reporta el Centro Nacional de Prevención de desastres y el CONAGUA; los años 2006 y 2011 fueron críticos con una sequía excepcional (D4), no obstante la procedencia Puerto San Juan, Coah. presentó mayor crecimiento en altura y diámetro basal de las procedencias del norte del país. En diámetro normal, diámetro de copa y área de copa en los dos últimos años de medición se observan diferencias en el crecimiento (Figura 4) lo cual pudo ser afectado por la sequía antes mencionada.



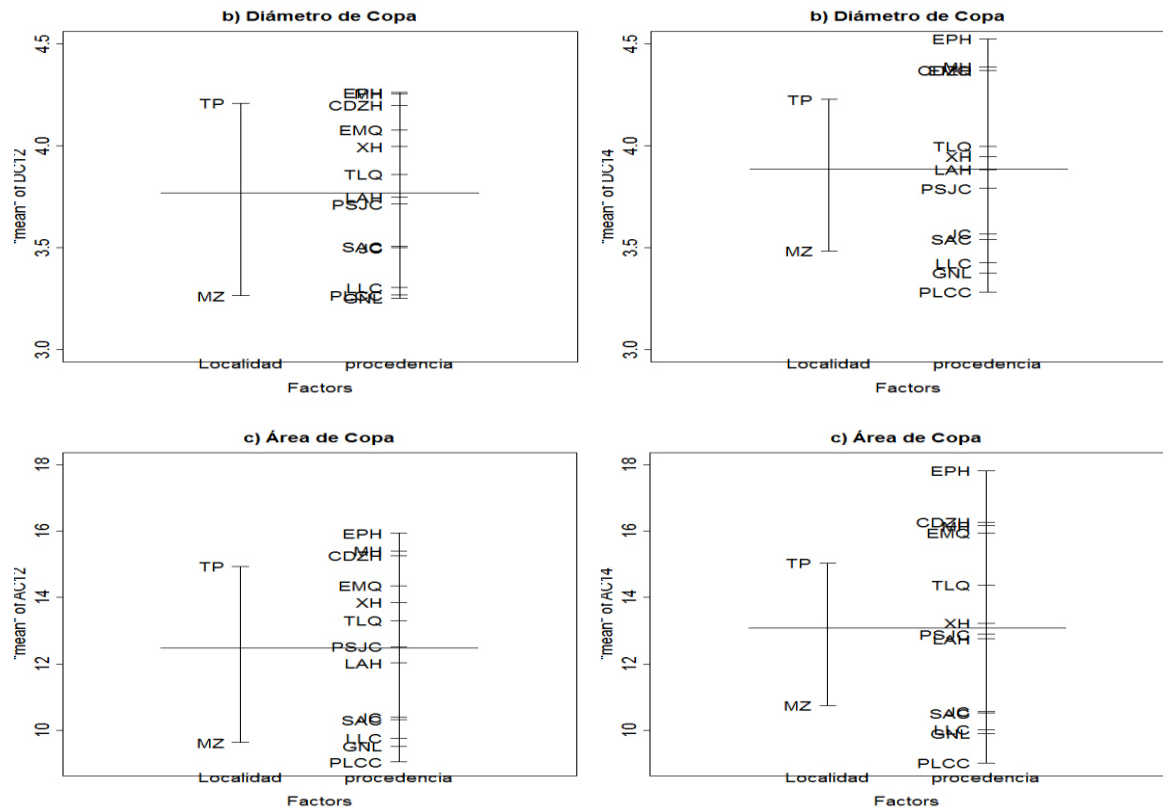


Figura 4. Variación de crecimiento de las procedencias de *Pinus greggii* y localidades a través del tiempo: a) Variación en Diámetro Normal, b) Variación en Diámetro de Copa, c) Variación en Área de copa.

De acuerdo a lo obtenido se analizaron datos de la última medición (2014) por localidad y por especie para conocer el comportamiento de las procedencias, de igual manera se realizó un análisis con las localidades en conjunto para conocer la variabilidad entre ambas.

2.6.1.2. Análisis de la última medición por localidad

A los 17 años de la plantación, en ambas localidades existe una diferencia significativa ($P < 0.05$) en el crecimiento de la altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa entre procedencias (las diferencias por variable se presentan a continuación), mientras que entre bloques se presentó diferencia en el crecimiento de la altura y área de copa en Tlacotepec Plumas y en Magdalena Zahuatlán se presentó diferencias entre diámetros y área de copa, de igual manera la interacción de los dos factores se presentó

únicamente en Tlacotepec Plumas (Cuadro 5) indicando que no influyeron los bloques en el crecimiento de las procedencias.

Cuadro 5. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en *Pinus greggii* por cada localidad evaluada.

Variables/Factores	Localidad	Bloque	Procedencia	Bloques*Procedencia
Altura (Pr(>F))	MZ	0.1033	9.55e-08	0.00227
	TP	0.0119	<0.0001	0.2004
Diámetro Basal (Pr(>F))	MZ	2.06e-13	2.45e-11	<0.0001
	TP	0.416	<0.0001	0.927
Diámetro Normal (Pr(>F))	MZ	<0.0001	3.52e-12	<0.0001
	TP	0.298	0.0001	0.924
Diámetro de Copa (Pr(>F))	MZ	1.23e-08	1.06e-07	3.82e-11
	TP	0.0827	2.5e-15	0.6857
Área de Copa (Pr(>F))	MZ	1.00e-05	4.64e-08	7.62e-08
	TP	0.0446	2.99e-15	0.6106

MZ= Magdalena Zahuatlán, TP= Tlacotepec Plumas.

También se observaron diferencias entre variedades de la especie, siendo la var. *australis* la que presenta crecimientos superiores, coincidiendo con los resultado obtenidos por Velasco (2001) a 2.5 años del establecimiento de la misma plantación, así como con los obtenidos por López *et al.* (2004) quienes analizaron ambas variedades en Patoltecuya, Huauchinango, Puebla, y de igual manera coinciden con los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2008) en el Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L., donde las mismas procedencias de la var. *greggii* presentaron diferencias significativas en el crecimiento.

2.6.1.2.1. Altura

En relación a las diferencias de crecimiento en altura de las procedencias, la que sobresalió en ambas localidades fue El Madroño, Qro., siendo el menor en Magdalena Zahuatlán Galeana, N.L. y en Tlacotepec Plumas Los Lirios, Coah. (Cuadro 6 y Figura 5), observando mayor variabilidad del crecimiento en Magdalena Zahuatlán, así como un menor crecimiento de la altura.

Cuadro 6. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en altura de las procedencias de *Pinus greggii* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Magdalena Zahuatlán						Tlacotepec Plumas					
Proc.	H	std	Min.	Max.	G	Proc.	H	std	Min.	Max.	G
EMQ	8.82	3.07	3.00	13.50	a	EMQ	12.97	1.11	9.50	14.50	a
EPH	8.35	3.11	1.20	13.00	ab	EPH	12.23	2.20	5.00	16.00	ab
CDZH	8.10	2.84	3.10	12.00	abc	CDZH	11.85	1.30	8.50	14.50	ab
MH	8.08	2.91	2.40	12.50	abc	TLQ	11.60	1.83	6.50	14.00	b
SAC	7.82	2.31	3.50	13.00	abc	MH	11.20	1.44	8.00	14.00	bc
TLQ	7.52	3.10	1.10	12.00	bcd	LAH	11.20	1.55	8.00	14.50	bc
PSJC	7.07	2.69	2.90	12.00	bcde	XH	10.96	1.96	5.00	14.50	bc
XH	6.98	2.28	1.80	11.00	cde	PSJC	10.25	2.79	4.50	15.50	cd
LAH	6.82	2.05	3.10	10.00	cdef	SAC	9.07	1.42	5.00	13.50	de
JC	6.48	2.67	2.10	11.00	defg	JC	8.93	0.99	7.00	11.50	e
PLCC	5.95	2.03	2.10	9.00	efg	GNL	8.78	1.65	6.00	13.50	e
LLC	5.50	2.77	1.80	12.50	fg	PLCC	8.68	1.03	7.00	10.50	e
GNL	5.48	2.70	1.00	10.50	g	LLC	8.64	1.54	3.00	13.00	e

H=Altura, std= error estándar, Min.=Valores Mínimos, Max. Valores Máximos, G=Grupos de crecimiento: Donde: Procedencias del centro (CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; MH= Molango, Hgo.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.), procedencias del norte (GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LLC= Los Lirios, Coah.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.).

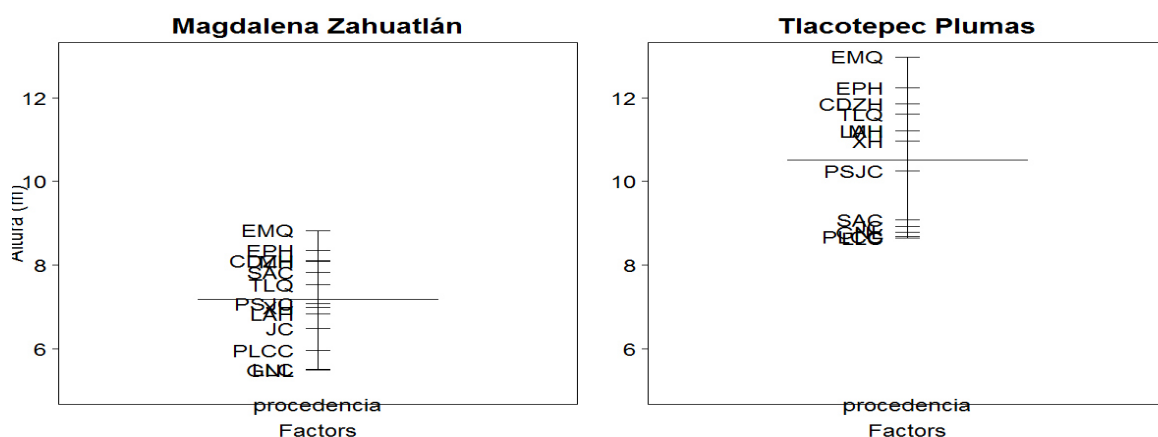


Figura 5. Variabilidad de la altura promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

2.6.1.2.2. Diámetro Basal

La procedencia con mayor diámetro basal en ambas localidades fue El Piñón, Hgo., y la menor Los Lirios, Coah. en ambas localidades como se

presenta en el Figura 6 y Cuadro 7. Esta última procedencia (Los Lirios) mostró mejor crecimiento en el norte del país en menor tiempo de acuerdo al estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2013) en el ejido 18 de Marzo, Galeana, N.L., donde alcanzó 7.7 cm después de 10.9 años de establecerse la prueba, indicando que tiene mejor crecimiento dentro de la latitud en donde se distribuye de forma natural.

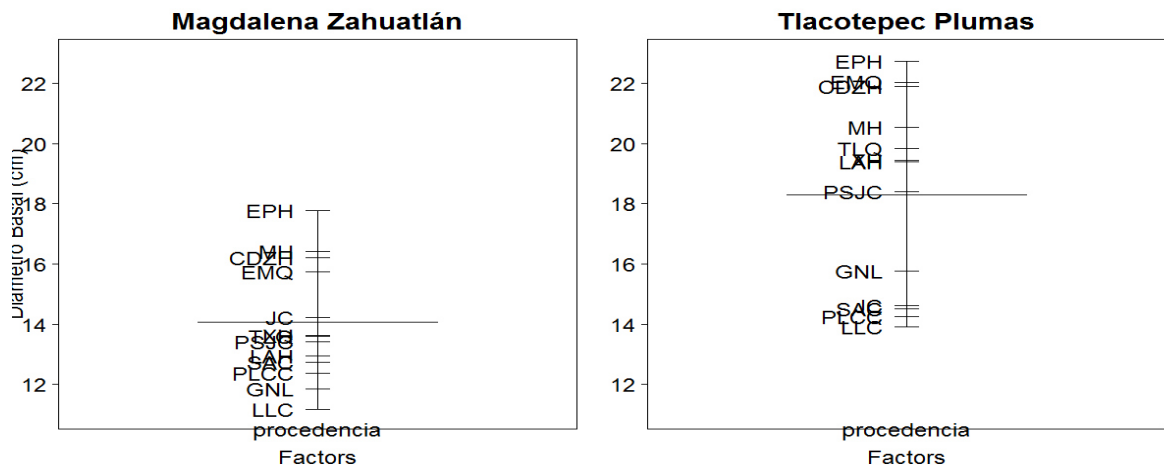


Figura 6. Variabilidad del diámetro basal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

Cuadro 7. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro basal de las procedencias de *Pinus greggii* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán					Proc.	Tlacotepec Plumas				
	DB	std	Min.	Max.	G		DB	std	Min.	Max.	G
EPH	17.78	8.53	2.55	31.51	a	EPH	22.74	4.85	11.78	32.15	a
MH	16.41	7.42	3.50	30.56	ab	EMQ	22.04	3.72	15.28	31.19	ab
CDZH	16.21	6.43	4.77	28.33	abc	CDZH	21.91	4.66	12.41	31.83	ab
EMQ	15.73	5.85	5.09	25.15	abcd	MH	20.55	4.61	12.10	32.79	ab
JC	14.21	5.59	4.14	23.55	bcde	TLQ	19.83	5.54	8.28	29.92	ab
XH	13.62	4.19	4.77	21.65	bcde	XH	19.44	4.74	8.28	28.65	abc
TLQ	13.58	5.68	4.14	24.51	bcde	LAH	19.38	4.54	11.14	25.78	abc
PSJC	13.40	6.04	7.00	31.51	bcde	PSJC	18.40	7.81	8.28	32.15	bc
LAH	12.94	4.89	4.14	21.96	bcde	GNL	15.77	4.22	8.91	27.06	cd
SAC	12.74	4.61	3.50	21.65	cde	JC	14.60	3.07	8.91	20.05	d
PLCC	12.38	4.17	5.09	20.05	de	SAC	14.50	2.33	10.19	19.74	d
GNL	11.84	5.20	3.18	22.60	e	PLCC	14.24	2.94	9.55	23.55	d
LLC	11.16	4.80	3.82	22.60	e	LLC	13.90	3.40	6.37	22.28	d

DB=diámetro basal, std= error estándar, Min.=Valores Mínimos, Max. Valores Máximos, G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

2.6.1.2.3. Diámetro Normal

La procedencia con mayor crecimiento en diámetro normal fue El Piñón, Hgo. en Magdalena Zahuatlán y EL Madroño, Qro. en Tlacotepec Plumas y el menor en ambas localidades fue Los Lirios, Coah., como se observa en el Cuadro 8 y Figura 7, observando mayor crecimiento en Tlacotepec Plumas, donde las procedencias del norte presentaron los menores crecimientos.

Cuadro 8. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro normal de las procedencias de *Pinus greggii* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Magdalena Zahuatlán						Tlacotepec Plumas					
Proc.	DN	std	Min.	Max.	G	Proc.	DN	std	Min.	Max.	G
EPH	13.88	7.58	0.64	28.01	a	EMQ	17.81	3.15	12.10	25.15	a
MH	12.56	6.66	1.59	24.19	ab	EPH	17.76	4.14	8.28	26.74	a
CDZH	12.44	5.92	2.23	22.28	ab	CDZH	16.48	4.15	7.96	26.10	a
EMQ	11.95	4.85	3.50	19.74	abc	MH	16.00	4.27	7.96	26.74	ab
JC	10.99	5.54	2.55	19.42	abcd	XH	15.36	4.35	5.09	24.19	ab
PSJC	10.10	5.89	3.18	27.37	bcd	TLQ	15.33	4.88	5.73	25.78	ab
SAC	9.93	4.39	0.76	17.19	bcd	LAH	15.20	4.31	7.00	25.15	ab
TLQ	9.78	5.09	0.64	19.10	bcd	PSJC	14.60	6.46	6.68	25.78	abc
XH	9.57	3.56	2.86	17.83	bcd	GNL	12.63	3.60	5.73	21.65	bcd
LAH	9.46	4.38	2.23	17.51	bcd	JC	11.62	2.80	6.05	16.23	cd
PLCC	9.02	4.02	1.27	15.60	cd	SAC	11.38	2.29	7.00	15.92	cd
GNL	8.44	5.12	0.64	28.01	d	PLCC	11.07	2.45	6.68	18.14	d
LLC	8.31	4.95	1.59	20.05	d	LLC	10.82	3.13	1.91	18.14	d

DN=diámetro normal, std=error estándar, Min.=Valores Mínimos, Max. Valores Máximos, G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

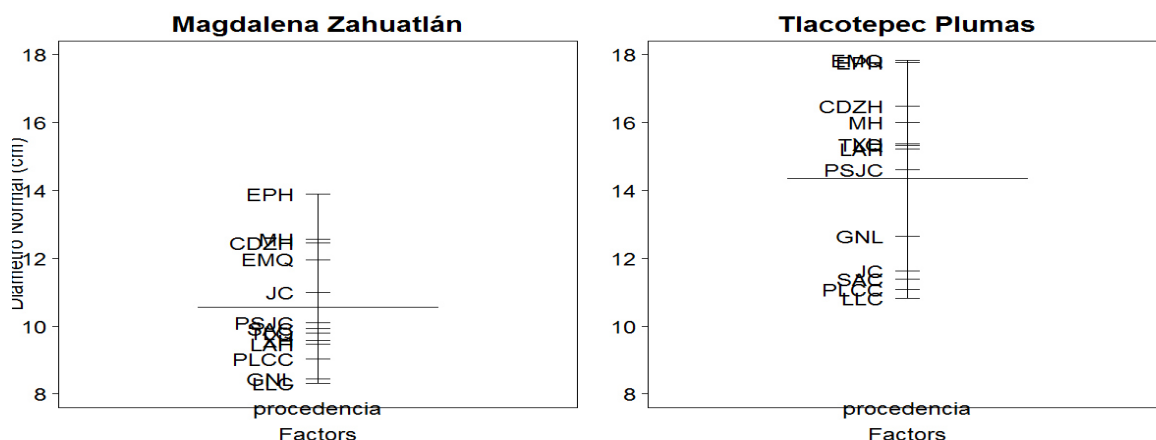


Figura 7. Variabilidad del diámetro normal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

2.6.1.2.4. Diámetro de Copa

La procedencia con mayor crecimiento en diámetro de copa fue El Piñón, Hgo. en Magdalena Zahuatlán y El Madroño, Qro. en Tlacotepec Plumas y la menor fue Puerto Los Conejos, Coah., en ambas localidades; sin embargo de las procedencias del norte del país Puerto San Juan, Coah., está presentando buen crecimiento (Figura 8 y Cuadro 9).

La existencia de diferencias significativas entre procedencias coinciden con los resultados de Rodríguez *et al.* (2008) en El Ejido 18 de Marzo, Galena, N. L., donde obtuvieron diferencias significativas en el crecimiento de copa después de 4.5 años de establecerse las mismas procedencias de *P. greggii* var. *greggii* (Procedencias distribuidas naturalmente en el norte de México) analizadas en este estudio.

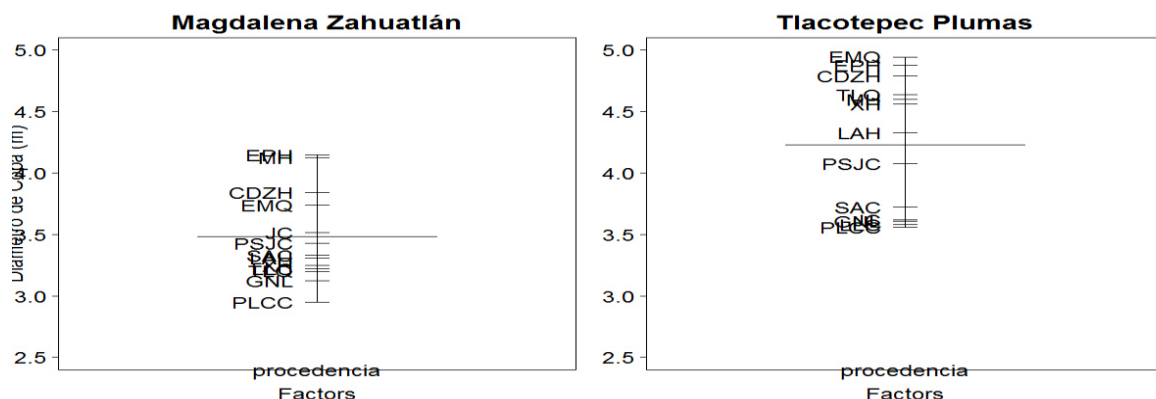


Figura 8. Variabilidad del diámetro de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

Cuadro 9. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en diámetro de copa de las procedencias de *Pinus greggii* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán					Proc.	Tlacotepec Plumas				
	DC	std	Min.	Max.	G		DC	std	Min.	Max.	G
EPH	4.14	1.75	1.00	7.87	a	EMQ	4.94	0.90	2.56	6.71	a
MH	4.12	1.39	1.10	6.05	ab	EPH	4.87	1.14	2.24	7.25	ab
CDZH	3.84	1.21	1.45	6.45	abc	CDZH	4.79	1.19	2.40	7.10	ab
EMQ	3.73	1.00	1.55	5.65	abcd	TLQ	4.63	1.47	1.51	8.30	ab
JC	3.51	1.06	1.55	5.35	abcd	MH	4.59	0.89	2.65	6.71	ab
PSJC	3.42	1.47	1.90	8.15	abcd	XH	4.56	1.08	2.25	7.70	abc
SAC	3.32	1.06	1.35	6.20	bcd	LAH	4.32	0.92	2.79	6.10	abcd
LAH	3.30	1.02	1.25	4.90	bcd	PSJC	4.07	1.37	1.89	7.30	bcd
XH	3.24	0.70	1.82	4.35	cd	SAC	3.72	0.77	2.20	5.46	cd
LLC	3.22	1.14	1.40	5.27	cd	JC	3.61	0.65	2.18	4.94	d
TLQ	3.20	1.22	1.17	5.40	cd	GNL	3.60	0.81	2.20	5.51	d
GNL	3.12	1.33	0.85	5.55	cd	LLC	3.57	0.92	1.19	5.51	d
PLCC	2.94	0.94	1.22	4.92	d	PLCC	3.55	0.67	2.40	5.00	d

DC=diámetro de copa, std= error estándar, Min.=Valores Mínimos, Max. Valores Máximos, G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

2.6.1.2.5. Área de Copa

La procedencia con mayor crecimiento en área de copa en Magdalena Zahuatlán fue El Piñón, Hgo. y Madroño, Qro. en Tlacotepec Plumas y la menor en ambas localidades fue Puerto Los Conejos, Coah., como se muestra en el Cuadro 10 y Figura 9. Por lo tanto se observa mayor cobertura en las procedencias del centro del país en comparación con las del norte, lo cual influye en la mayor cantidad de biomasa aérea acumulada en las procedencias del centro del país como lo mencionan Villegas *et al.* (2013), así como mayor cobertura y protección al suelo, aportando mayor cantidad de residuos y reduciendo la erosión.

De acuerdo a las condiciones del suelo del lugar de estudio esta variable y el diámetro de copa son de gran importancia ya que indican la cobertura del suelo por lo tanto la reducción del arrastre del mismo.

Cuadro 10. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos y grupos de crecimiento en área de copa de las procedencias de *Pinus greggii* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán					Proc.	Tlacotepec Plumas				
	AC	std	Min.	Max.	G		AC	std	Min.	Max.	G
EPH	15.84	12.37	0.79	48.71	a	EMQ	19.79	6.75	5.15	35.36	a
MH	14.85	8.20	0.95	28.75	ab	EPH	19.67	8.74	3.94	41.28	a
CDZH	12.70	7.49	1.65	32.67	abc	CDZH	19.10	9.24	4.52	39.59	a
EMQ	11.72	5.67	1.89	25.07	abc	TLQ	18.53	11.18	1.79	54.11	a
PSJC	10.88	10.49	2.84	52.17	abc	XH	17.23	8.07	3.98	46.57	ab
JC	10.55	5.97	1.89	22.48	bc	MH	17.22	6.54	5.52	35.36	ab
SAC	9.55	5.87	1.43	30.19	c	LAH	15.34	6.37	6.11	29.22	abc
LAH	9.39	5.38	1.23	18.86	c	PSJC	14.46	9.57	2.91	41.85	abc
TLQ	9.18	6.53	1.08	22.90	c	SAC	11.33	4.60	3.80	23.41	bc
LLC	9.14	6.09	1.54	21.85	c	GNL	10.73	4.78	3.80	23.84	c
GNL	8.99	6.76	0.57	24.19	c	LLC	10.71	5.24	1.11	23.84	c
XH	8.66	3.58	2.62	14.86	c	JC	10.59	3.72	3.73	19.17	c
PLCC	7.50	4.55	1.18	19.05	c	PLCC	10.27	3.84	4.52	19.64	c

Proc.=Procedencias, AC=área de copa, std= error estándar, Min.=Valores Mínimos, Max. Valores Máximos, G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

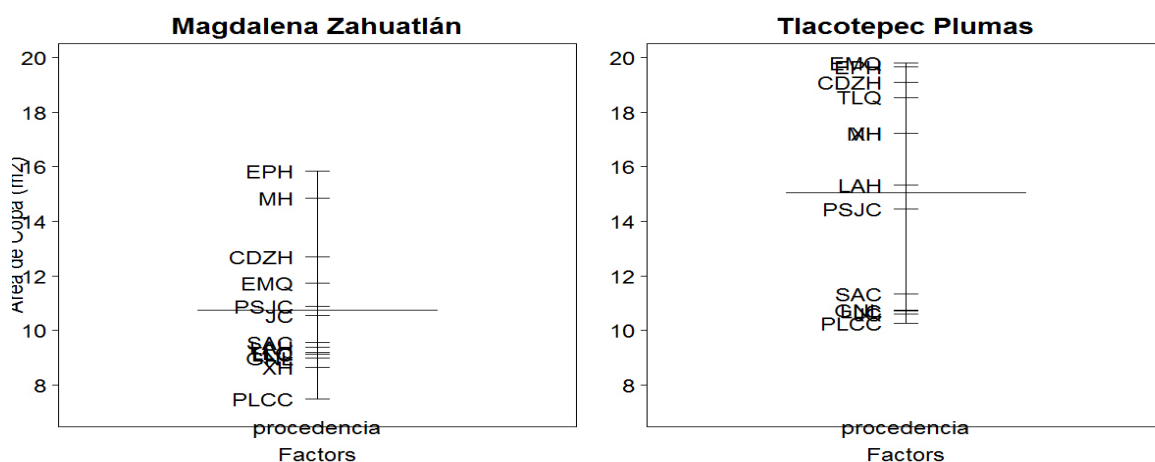


Figura 9. Variabilidad del área de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

2.4.1.2. Análisis conjunto de las dos localidades

Del análisis de las dos localidades de manera conjunta se obtuvo que después de 17 años de realizarse la plantación hay diferencias significativas ($P < 0.05$) en el crecimiento de la altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa entre localidad, procedencias y bloques, así como en la interacción de localidad: procedencia y bloques: localidad (Cuadro 11), mostrando que el crecimiento fue diferente entre cada uno de ellos.

Cuadro 11. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en *Pinus greggii* de las dos localidades en conjunto.

Factores/Variables	H(Pr(>F))	DB(Pr(>F))	DN(Pr(>F))	DC(Pr(>F))	AC(Pr(>F))
Localidad	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Procedencia	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Bloque	8.56e-09	3.21e-07	7.73e-09	0.000599	0.002233
Localidad*Procedencia	0.0021	0.00325	0.005169	0.009838	0.000752
Bloque(Localidad)	1.17e-13	0.04095	0.000838	0.001654	0.025213

2.4.1.2.1. Altura

En la altura el mayor crecimiento promedio de la especie se presentó en Tlacotepec Plumas (10.50 vs 7.18 m), dicha variación en crecimiento entre localidades inició desde los 2.5 años de la plantación según Velasco (2001).

El crecimiento de las diferentes procedencias es muy visible; las del centro del país (*P. greggii* var. *australis*) presentan mayor crecimiento, mientras que las del norte (*P. greggii* var. *greggii*) presentan un crecimiento lento reafirmando lo que mencionan Salazar *et al.* (1999) de acuerdo a los resultados obtenidos en Patoltecocya, Huachinango, Puebla. La procedencia con mayor crecimiento de la var. *australis* es El Madroño, Qro, mientras que de la var. *greggii* es Puerto San Juan, Coah, observando que la var. *australis* presentó crecimientos en promedio >9 m y en la var. *greggii* fueron menores (Cuadro 12 y Figura 10) indicando que la adaptabilidad de las procedencias y variedades fueron diferentes.

Cuadro 12. Promedio de la altura y diámetros basal de las variedades de *Pinus greggii* de las dos localidades a 17 años de la plantación.

Procedencias	Altura (m)	G	Procedencias	Diámetro Basal (cm)	G
EMQ	10.99	a	EPH	20.33	a
EPH	10.35	ab	CDZH	19.32	ab
CDZH	10.15	abc	EMQ	19.03	abc
MH	9.79	abcd	MH	18.68	abc
TLQ	9.78	bcd	TLQ	17.04	bcd
LAH	9.29	bcde	XH	16.77	bcde
XH	9.14	cde	LAH	16.58	bcdef
PSJC.	8.86	def	PSJC	16.21	cdefg
SAC	8.50	efg	JC	14.41	defgh
JC	7.76	fg	GNL	13.90	efgh
PLCC	7.45	gh	SAC	13.69	fgh
LLC	7.28	gh	PLCC	13.40	gh
GNL	7.21	h	LLC	12.71	h

G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

2.4.1.2.2. Diámetro Basal

En el crecimiento en diámetro basal existe un efecto del ambiente sobre el fenotipo, lo cual se aprecia claramente en la variación del crecimiento entre las dos localidades, siendo Tlacotepec Plumas la que presentó un valor de crecimiento mayor (18.28 vs 14.07 cm). El crecimiento significativo entre procedencias indica un mayor crecimiento de la var. *australis* donde sobresale la procedencia El Piñón, Hgo., mientras que en la var. *greggii* es Puerto San Juan, Coah., además las procedencias del centro presentaron crecimientos >16.50 cm, mientras que las del norte el crecimiento fue menor a la misma (Cuadro 12 y Figura 10).

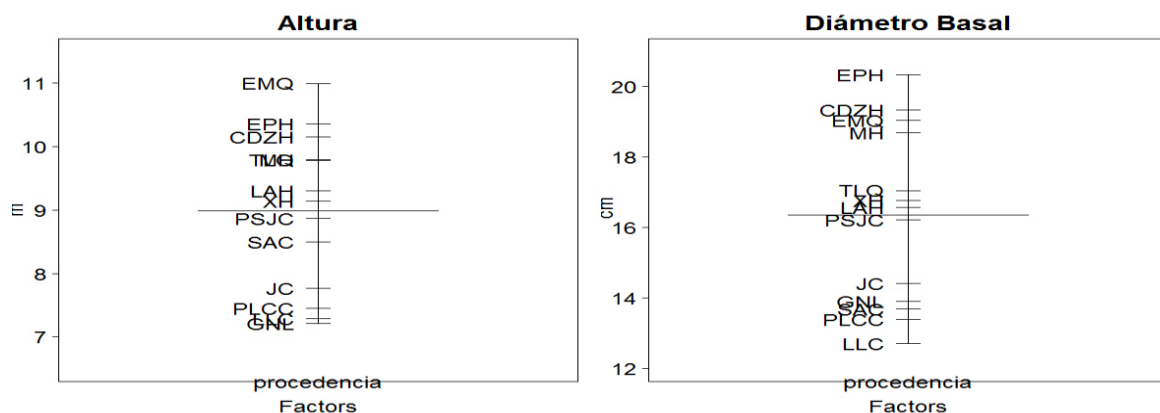


Figura 10. Variabilidad de la altura y diámetro basal promedio de las dos localidades evaluadas.

2.4.1.2.3. Diámetro Normal

En promedio la especie presentó mayor crecimiento en Tlacotepec Plumas (14.33 vs 10.55 cm), entre procedencias se presentó mayor crecimiento la var. *australis* donde sobresale El Piñón, Hgo. y en la var. *greggii* Puerto San Juan, Coah.; la menor fue Los Lirios, Coah. (Cuadro 13 y Figura 11).

Cuadro 13. Promedio del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa de las variedades de *Pinus greggii* de las dos localidades a 17 años de la plantación.

Procedencias	Diámetro Normal (cm)	G	Procedencias	Diámetro de Copa (m)	G	Procedencias	Área de Copa (m ²)	G
EPH	15.88	a	EPH	4.52	a	EPH	17.81	a
EMQ	15.02	ab	MH	4.38	ab	CDZH	16.26	ab
CDZH	14.68	ab	CDZH	4.36	ab	MH	16.15	ab
MH	14.44	ab	EMQ	4.36	ab	EMQ	15.94	ab
TLQ	12.85	bc	TLQ	3.99	abc	TLQ	14.36	abc
LAH	12.70	bcd	XH	3.94	abc	XH	13.22	bcd
XH	12.65	bcd	LAH	3.88	abcd	PSJC	12.89	bcd
PSJC	12.63	bcd	PSJC	3.79	bcd	LAH	12.75	bcd
JC	11.32	cde	JC	3.56	cd	JC	10.57	cd
SAC	10.71	cde	SAC	3.54	cd	SAC	10.51	cd
GNL	10.63	cde	LLC	3.42	cd	LLC	10.31	d
PLCC	10.14	de	GNL	3.37	cd	GNL	9.90	d
LLC	9.73	e	PLCC	3.28	d	PLCC	9.02	d
Promedio	12.45			3.85			12.85	

G=Grupos de crecimiento: Donde: CDZH=Comunidad Durango Zimapán, Hgo.; EMQ= El Madroño, Qro.; EPH=El Piñón, Hgo.; GNL= Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L.; JC=Jamé, Coah.; LAH= Laguna Atezca, Hgo.; LLC= Los Lirios, Coah.; MH= Molango, Hgo.; PLCC= Puerto

Los Conejos, Coah.; PSJC= Puerto San Juan, Coah.; SAC= Santa Anita, Coah.; TLQ= Tres Lagunas, Qro.; XH=Xichicoatlán, Hgo.

2.4.1.2.4. Diámetro de Copa

El diámetro de copa presentó un crecimiento promedio por especies mayor en Tlacotepec Plumas (4.22 vs 3.48 m), indicando mayor protección del suelo en dicha localidad y mayor crecimiento en promedio de la var. *australis*; la procedencia con mayor diámetro de copa es El Piñón, Hgo., mientras que en la var. *greggii* fue Puerto San Juan, Coah. (Cuadro 13 y Figura 11), procedencia que curiosamente presentó crecimiento sobresaliente en el sur. Dicha procedencia empezó a sobresalir desde los 2.5 años según Velasco (2001), contrario a lo obtenido por Rodríguez *et al.* (2009) en un estudio realizado en El Ejido 18 de Marzo, Galeana, Nuevo León, donde después de 10.9 años de la plantación, fue la última de 9 procedencias de la var. *greggii* de la misma región.

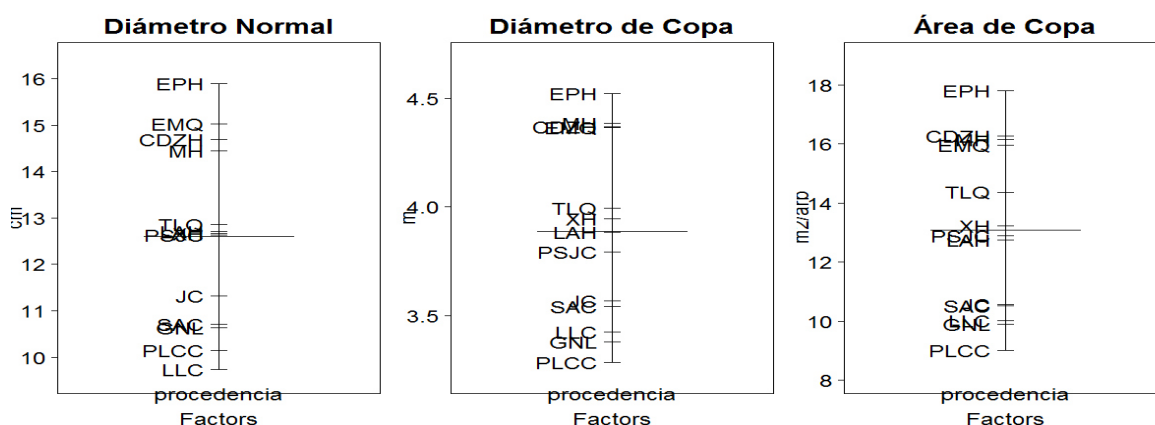


Figura 11. Variabilidad del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa promedio de las dos localidades evaluadas.

2.4.1.2.5. Área de Copa

El crecimiento promedio del área de copa en la especie fue mayor en Tlacotepec Plumas (15.03 vs 10.74 m²/árbol), y al igual que las variables anteriores el mayor crecimiento en promedio lo presentó la var. *australis* en la procedencia El Piñón, Hgo. (17.81 m²), mientras que en la var. *greggii* fue Puerto San Juan, Coah. (12.89 m²) (Cuadro 13 y Figura 11). Es claro observar que las procedencias del centro del país otorgan mayor protección al suelo ante

la erosión, siendo la procedencia El Piñón, Hgo la que ofrece mayor desarrollo de la cobertura de copa.

2.4.1.3. Análisis de correlación

Mediante la correlación de Pearson se observa una correlación significativa ($P < 0.05$) entre las variables, las cuales presentaron una relación alta y positiva, mientras que los crecimientos presentaron una relación inversa con altitud y pH del suelo, presentando los mejores crecimientos las procedencias del centro del país, lo que indica que las procedencias que se distribuyen originalmente a mayores altitudes, latitudes y pH del suelo como es el caso de las procedencias del norte presentaron los menores crecimientos; aquellas que se distribuyen en áreas con mayor precipitación y temperatura tienen mayores crecimientos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Correlación de las características descriptivas del lugar de origen de las procedencias de *Pinus greggii* con las variables evaluadas en dos sitios de plantación.

	msnm	Temp.	Pptn.	pH	H.	DN	DB	DC	AC
msnm		-0.7	-0.83	0.8	-0.6	-0.61	-0.59	-0.63	-0.6
Temp.	*		0.61	-0.68	0.48	0.42	0.4	0.39	0.38
Pptn.	*	*		-0.78	0.38	0.38	0.33	0.41	0.38
pH	*	*	*		-0.65	-0.57	-0.55	-0.56	-0.55
H.	*	n/s	n/s	*		0.95	0.94	0.95	0.94
DN	*	n/s	n/s	n/s	*		0.98	0.97	0.98
DB	*	n/s	n/s	n/s	*	*		0.98	0.97
DC	*	n/s	n/s	n/s	*	*	*		0.99
AC	*	n/s	n/s	n/s	*	*	*	*	

Dónde: msnm: Altitud; Temp: Temperatura; Pptn: Precipitación; Ph: pH del suelo; H: Altura, DN: Diámetro Normal, DB: Diámetro Basal; DC: Diámetro de Copa; AC: Área de Copa.

Estudios realizados por Salazar *et al.* (1999) en Puebla, utilizando la mayoría de las procedencias evaluadas en este estudio presentaron una relación significativa y positiva entre la altura y altitud a 18 meses de plantación, y con 5 de estas procedencias Rodríguez *et al.* (2013) reportan una relación negativa y significativa después de 4.5, 5 y 10.9 años de una plantación en el

Ejido 18 de Marzo, Galeana, N. L., lo cual significa que a menor edad, existe una correlación positiva entre altura y altitud y a mayor edad la correlación se vuelve negativa e indicando que con el paso de los años las procedencias de menor altitud presentan mejor adaptación y por lo tanto mayor altura, diámetro basal y diámetro de copa.

2.4.1.4. Supervivencia

La supervivencia presentó diferencias significativas ($P=0.05$) entre los dos sitios, caso contrario entre procedencias donde no hubo tales diferencias. Tlacotepec Plumas (95.9%) presentó mayor supervivencia que Magdalena Zahuatlán (82.4%) con un promedio de 80.2%, menor a la que obtuvo Velasco (2001) a los 2.5 años del establecimiento de la plantación, indicando que en 14.5 años hubo una mortalidad del 7.47 %, así como una mayor supervivencia a las obtenidas por Muñoz *et al.* (2011) en San Lorenzo, Uruapan, Michoacán después de 11 años.

En conjunto la procedencia con mayor supervivencia en *P. greggii* var. *australis* es Comunidad Durango, Zimapán, Hgo (97.71 %) mientras que en *P. greggii* var. *greggii* es Puerto San Juan, Coah. (94.07%); el menor de ambas variedades es Los Lirios, Coah. (84.98%). En Magdalena Zahuatlán la procedencias con mayor supervivencia en *P. greggii* var. *australis* es Comunidad Durango Zimapán, Hgo. (97.87%), y en *P. greggii* var. *greggii* es Jamé, Coah. (86.09 %). En Tlacotepec Plumas la mayor en *P. greggii* var. *australis* es Tres Lagunas, Qro. y en *P. greggii* var. *greggii* es Puerto San Juan, Coah. ambos con 100%.

Con esto se observa que la procedencia Puerto San Juan, Coah., tiene buena supervivencia en el sur, así como en el norte como mencionan Rodríguez *et al.* (2008) en su estudio realizado en el Ejido 18 de Marzo, Galeana, Nuevo León, obteniendo una supervivencia de 94.6% después de 4.5 años.

2.4.2. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE *Pinus oaxacana* EN AMBIENTES DEGRADADOS DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

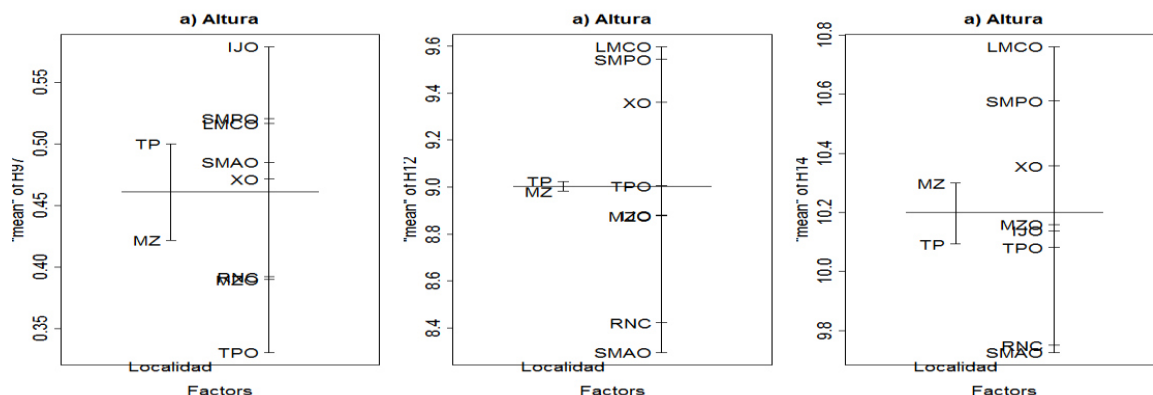
2.4.2.1. Análisis de medidas repetidas

El análisis de medidas repetidas para la altura y diámetro basal se realizó en tres años (1997, 2012, 2014), obteniendo diferencias significativas ($P=0.05$), como se presenta en el Cuadro 15, es decir, las diferencias en el crecimiento de los bloques, procedencias, localidades no fueron consistentes en el tiempo (Figura 12); el crecimiento en altura fue mayor en los primeros años, mientras que en diámetro basal presenta mayores crecimiento a mayor edad.

El diámetro normal, diámetro de copa y área de copa se evaluaron con dos mediciones (2012 y 2014) presentando diferencias significativas ($P=0.05$) y mostrando que las variaciones en crecimiento en las localidades no fueron consistentes en el tiempo, mientras que en los bloques, procedencias y en la interacción de bloques: localidad fueron consistentes.

Cuadro 15. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas del análisis de medidas repetidas en *Pinus oaxacana* de las dos localidades en conjunto.

Factores	H (Pr(>F))	DB (Pr(>F))	DN (Pr(>F))	DC (Pr(>F))	AC (Pr(>F))
Tiempo	0.0001	0.0001	5.12e-19	0.0103	0.0235
Tiempo*Bloque(Localidad)	4.99e-09	6.29e-06	0.07618	0.5502	0.6851
Tiempo*Procedencia	0.0001	0.040335	0.11801	0.0654	0.0238
Tiempo*Localidad	7.73e-12	0.000459	0.00782	6.6e-15	1.96e-15
Tiempo*Localidad*Procedencia	0.571	0.971562	0.99820	0.4670	0.1495



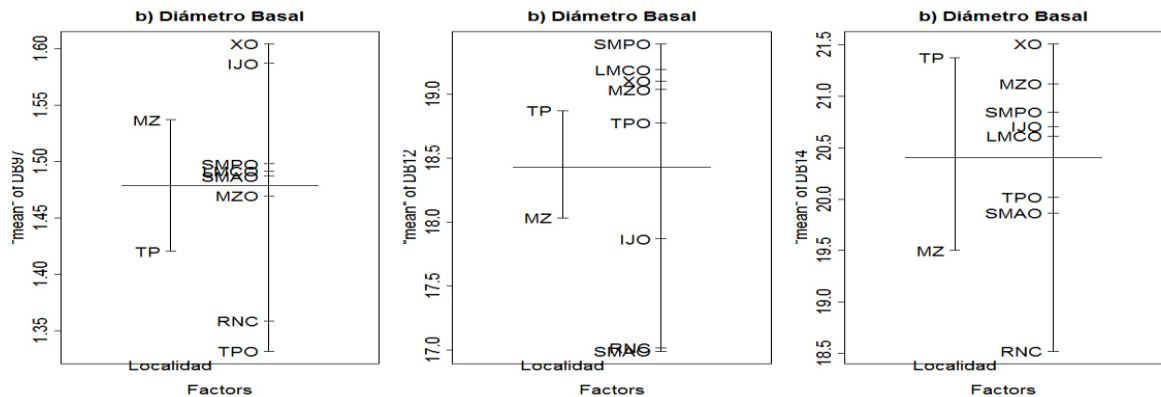


Figura 12. Gráfico de variación de crecimiento de las procedencias de *Pinus oaxacana* y localidades a través del tiempo: a) Variación en Altura, b) Variación en Diámetro Basal.

La procedencia Ixtlán de Juárez, Oax., presentó en un buen crecimiento en altura en 1997, seguido por San Miguel Peras y Los Molinos Capulalpan, Oax., sin embargo para 2012 la procedencia que empezó a presentar el mayor crecimiento fue Los Molinos Capulalpan, Oax., seguida por San Miguel Peras, Oax.; El diámetro basal en un inicio la procedencia Xacañí tuvo un buen crecimiento y en 2012 fue superado en crecimiento por otras procedencias e inclusive la variación de crecimiento entre localidades se redujo y para 2014 la variación aumentó.

Para el crecimiento del diámetro normal de 2012 a 2014 se observa una variación mayor entre las localidades, donde el promedio de crecimiento se va separando más y la variación entre procedencias está reduciendo, lo que indica que las procedencias de *Pinus oaxacana* con el tiempo pueden ser iguales, en crecimiento. Lo mismo sucede con el diámetro de copa donde es mínima la diferencia entre localidades y sin diferencia entre procedencias, el área de copa presenta una variación en ambos factores (Figura 13).

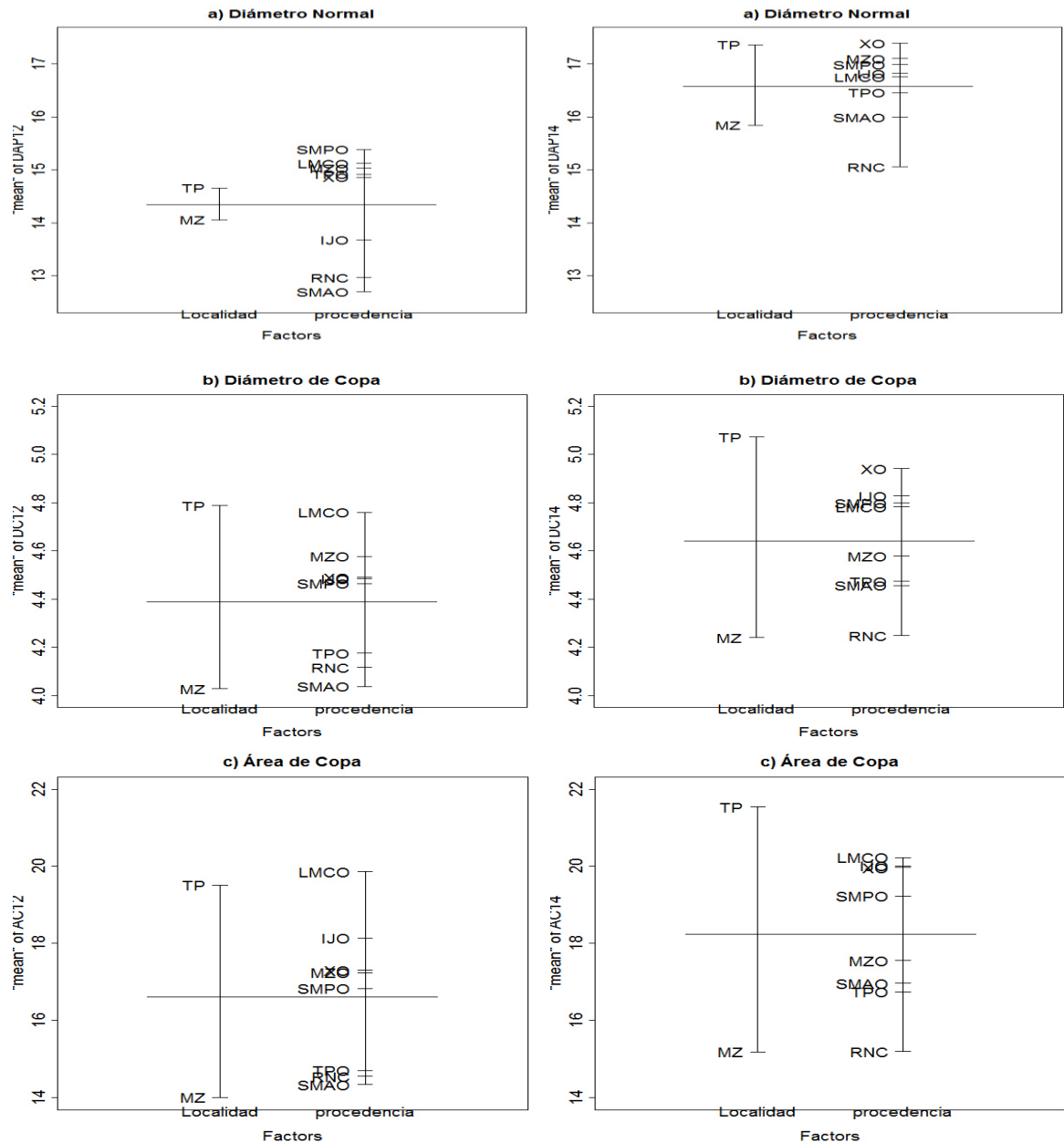


Figura 13. Gráfico de variación de crecimiento de las procedencias de *Pinus oaxacana* y localidades a través del tiempo: a) Variación en Diámetro Normal, b) Variación en Diámetro de Copa, c) Variación en Área de copa.

2.4.2.2. Análisis de la última medición por localidad

Al igual que en *Pinus greggii* se evaluaron las procedencia a los 17 años de la plantación obteniendo que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en el crecimiento de la mayoría de las variables dentro de los factores evaluados, como se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en el análisis de medidas repetidas en *Pinus oaxacana* por cada localidad evaluada.

	Localidad	Bloque	Procedencia	Bloques*Procedencia
Altura (Pr(>F))	MZ	0.000109	0.44701	0.685
	TP	0.0291	0.3389	0.277
Diámetro Basal (Pr(>F))	MZ	0.0706	0.4679	0.7290
	TP	0.4446	0.3143	0.0614
Diámetro Normal(Pr(>F))	MZ	0.0562	0.7270	0.7034
	TP	0.626	0.665	0.150
Diámetro de Copa(Pr(>F))	MZ	0.0732	0.5916	0.4055
	TP	0.61897	0.02113	0.00823
Área de Copa (Pr(>F))	MZ	0.0715	0.6150	0.3708
	TP	0.60629	0.00988	0.00553

2.4.2.2.1. Altura

La altura presentó diferencias significativas ($P>0.05$) en el crecimiento entre bloques en las dos localidades, lo que no sucedió entre procedencias y tampoco existe la evidencia de un efecto de interacción entre ambos factores. Sin embargo la procedencia sobresaliente fue Los Molinos Capulalpan, Oax., en ambas localidades (10.69 m en Magdalena Zahuatlán y 10.84 m en Tlacotepec Plumas) mientras que la de menor crecimiento en Magdalena Zahuatlán fue Rancho Nuevo, Chis. (9.73 m) y en Tlacotepec Plumas San Miguel Aloapan, Oax., con 9.52 m (Figura 14 y Cuadro 17).

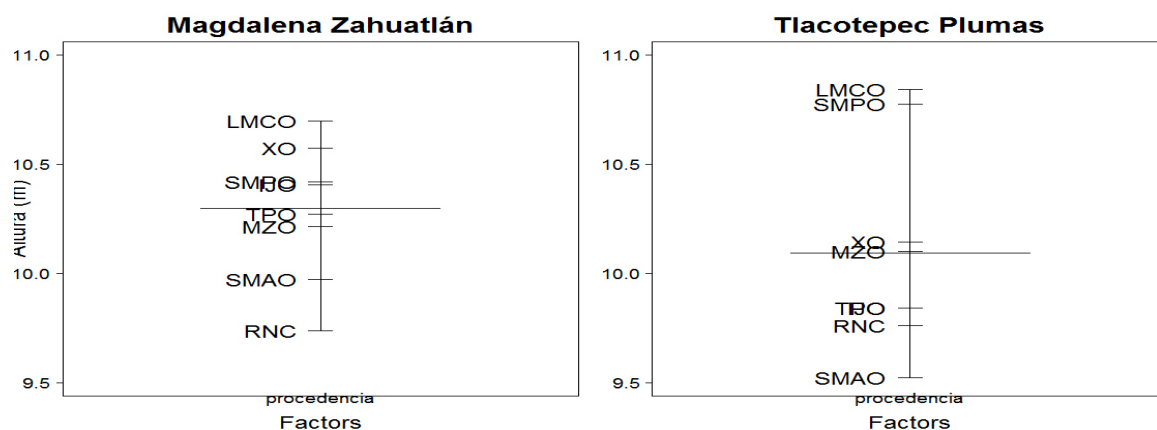


Figura 14. Variabilidad de la altura promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

Cuadro 17. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos en la altura de las procedencias de *Pinus oaxacana* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán				Proc.	Tlacotepec Plumas			
	H	std	Min.	Max.		H	std	Min.	Max.
LMCO	10.69	1.55	7.0	13.0	LMCO	10.84	1.80	7.0	13.00
XO	10.57	1.49	5.0	12.5	SMPO	10.77	1.12	8.5	13.00
SMPO	10.42	1.82	4.0	12.5	XO	10.14	2.12	3.5	13.50
IJO	10.40	1.27	8.0	12.5	MZO	10.10	2.30	5.0	12.00
TPO	10.27	1.26	7.0	12.5	IJO	9.84	2.74	3.0	13.00
MZO	10.21	2.20	5.5	13.0	TPO	9.84	2.17	4.5	12.00
SMAO	9.97	1.50	7.0	13.0	RNC	9.76	2.47	3.0	12.50
RNC	9.73	1.84	5.0	12.5	SMAO	9.52	2.69	3.0	12.50

Donde H=Altura; std= error estándar; Min.=Valores Mínimos; Max. Valores Máximos; LMCO= Los Molinos Capulalpam, Oax.; XO=Xacañi, Oax.; SMPO=San Miguel Peras, Oax.; IJO=Ixtlán de Juárez, Oax.; TPO=Tlacotepec Plumas, Oax.; MZO=Magdalena Zahuatlán, Oax., SMAO=San Miguel Aloapan, Oax.; RNC=Rancho Nuevo, Chis.

2.4.2.2.2. Diámetro Basal

El crecimiento del diámetro basal no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) en ninguno de los factores ni en la interacción en ninguna localidad. La procedencia que sobresalió fue Xacañi, Oax. (20.87 cm) en Magdalena Zahuatlán e Ixtlán de Juárez, Oax. (22.63 cm) en Tlacotepec Plumas, la última fue Rancho Nuevo, Chis. en ambas localidades (17.70 cm en Magdalena Zahuatlán y 19.34 cm en Tlacotepec Plumas), como se muestra en la Figura 15 y Cuadro 18.

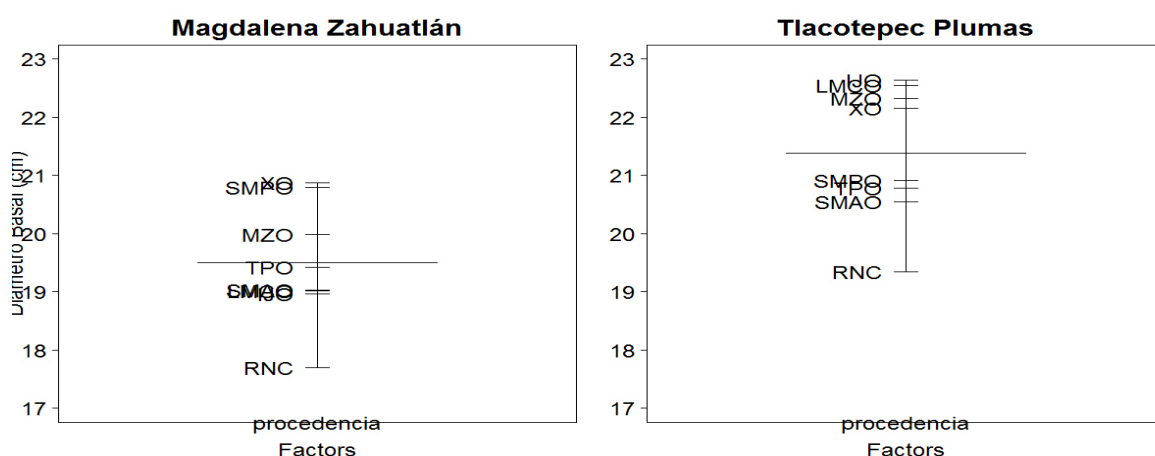


Figura 15. Variabilidad del Diámetro basal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

Cuadro 18. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro basal de las procedencias de *Pinus oaxacana* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán				Proc.	Tlacotepec Plumas			
	DB	std	Min.	Max.		DB	std	Min.	Max.
XO	20.87	3.93	10.50	26.74	IJO	22.63	6.22	7.32	30.24
SMPO	20.79	5.75	10.19	35.01	LMCO	22.55	6.32	11.78	34.38
MZO	19.97	4.73	9.55	27.06	MZO	22.32	5.25	12.41	32.47
TPO	19.41	6.40	10.19	26.10	XO	22.14	4.88	8.91	28.65
SMAO	19.02	4.41	11.14	25.78	SMPO	20.91	4.32	14.64	27.69
LMCO	19.01	5.51	9.87	26.74	TPO	20.78	5.28	9.55	28.65
IJO	18.96	4.53	6.64	27.37	SMAO	20.54	6.06	6.78	27.69
RNC	17.70	4.60	8.91	24.19	RNC	19.34	5.60	3.82	27.69

Dónde: DB=Diámetro Basal; std= error estándar; Min.=Valores Mínimos; Max. Valores Máximos; LMCO= Los Molinos Capulalpam, Oax.; XO=Xacañi, Oax.; SMPO=San Miguel Peras, Oax.; IJO=Ixtlán de Juárez, Oax.; TPO=Tlacotepec Plumas, Oax.; MZO=Magdalena Zahuatlán, Oax., SMAO=San Miguel Aloapan, Oax.; RNC=Rancho Nuevo, Chis.

2.4.2.2.3. Diámetro Normal

El crecimiento del diámetro normal en ninguna localidad presentó diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) entre factores e interacción, indicando un crecimiento similar entre las procedencias. La procedencia que sobresalió fue Xacañi, Oax. (16.97 cm) en Magdalena Zahuatlán y Los Molinos Capulalpam, Oax., en Tlacotepec Plumas (18.32 cm); la última fue Rancho Nuevo, Chis. en ambas localidades (14.43 cm en Magdalena Zahuatlán y 15.68 cm en Tlacotepec Plumas), como se muestra en el Figura 16 y Cuadro 19.

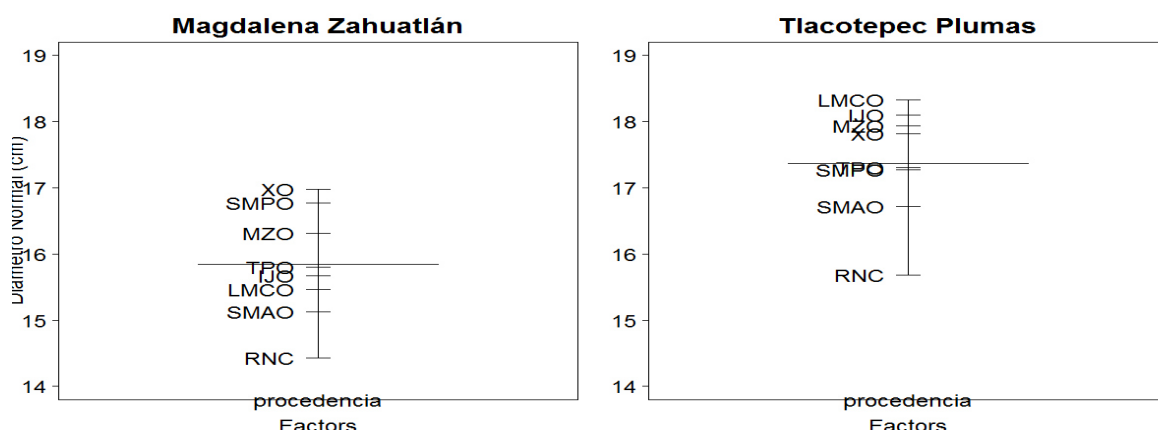


Figura 16. Variabilidad del Diámetro normal promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

Cuadro 19. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro normal de las procedencias de *Pinus oaxacana* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán				Proc.	Tlacotepec Plumas			
	DN	std	Min.	Max.		DN	std	Min.	Max.
XO	16.97	3.85	6.37	22.28	LMCO	18.32	5.82	8.28	27.69
SMPO	16.76	8.81	5.73	29.28	IJO	18.09	5.54	4.14	25.78
MZO	16.30	5.10	5.09	22.60	MZO	17.93	5.31	7.32	28.65
TPO	15.79	4.67	5.41	25.15	XO	17.81	4.82	5.41	24.51
IJO	15.67	4.09	6.68	23.87	TPO	17.29	5.33	4.77	23.87
LMCO	15.45	5.45	5.09	23.24	SMPO	17.27	3.65	11.14	22.60
SMAO	15.12	3.81	7.32	21.65	SMAO	16.71	5.67	2.93	24.51
RNC	14.43	4.50	5.41	21.33	RNC	15.68	5.34	1.59	22.92

Dónde: DN=Diámetro Normal; std= error estándar; Min.=Valores Mínimos; Max. Valores Máximos; LMCO= Los Molinos Capulalpam, Oax.; XO=Xacañí, Oax.; SMPO=San Miguel Peras, Oax.; IJO=Ixtlán de Juárez, Oax.; TPO=Tlacotepec Plumas, Oax.; MZO=Magdalena Zahuatlán, Oax., SMAO=San Miguel Aloapan, Oax.; RNC=Rancho Nuevo, Chis.

Los valores en diámetro basal y diámetro normal obtenidos en Magdalena Zahuatlán fueron superiores a los obtenidos por López (2012) en una plantación de 22 años en la misma localidad, mientras que la altura fue similar al crecimiento de la plantación de 14 años, y muy bajo en el diámetro de copa comparado con el obtenido en dicho trabajo.

2.4.2.2.4. Diámetro de Copa

El crecimiento del diámetro de copa no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre bloques en ninguna localidad, sin embargo en Tlacotepec Plumas existen diferencias en el crecimiento entre procedencias y en la interacción bloques: procedencias. En Magdalena Zahuatlán sobresalió la procedencia Xacañí, Oax. (4.63 m) y en Tlacotepec Plumas la que presentó mayor crecimiento fue Los Molinos Capulalpam, Oax. (5.63 m) y la de menor crecimiento en ambas localidades fue Rancho Nuevo, Chis. (4.01 m en Magdalena Zahuatlán y 4.48 en Tlacotepec Plumas) como se muestra en el Cuadro 20 y Figura 17.

Cuadro 20. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del diámetro de copa de las procedencias de *Pinus oaxacana* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Proc.	Magdalena Zahuatlán				Proc.	Tlacotepec Plumas				
	DC	std	Min.	Max.		DC	std	Min.	Max.	G
XO	4.63	0.94	2.73	6.23	LMCO	5.63	1.76	3.55	9.45	a
SMPO	4.45	1.21	1.95	6.50	IJO	5.48	1.55	2.25	9.05	ab
MZO	4.23	1.27	1.95	6.55	XO	5.25	1.00	3.15	6.70	ab
IJO	4.23	1.18	2.20	6.65	SMPO	5.22	1.11	3.70	7.10	ab
TPO	4.13	1.14	1.78	6.40	MZO	4.94	1.00	2.75	6.63	ab
SMAO	4.11	1.10	1.70	6.10	TPO	4.90	1.03	2.85	6.60	ab
LMCO	4.07	1.33	1.00	4.65	SMAO	4.73	1.46	1.60	6.85	ab
RNC	4.01	1.12	2.00	5.90	RNC	4.48	1.15	2.50	6.50	b

Dónde: DC=Diámetro de Copa; std= error estándar; Min.=Valores Mínimos; Max. Valores Máximos; G= grupos de crecimiento; LMCO= Los Molinos Capulalpam, Oax.; XO=Xacañi, Oax.; SMPO=San Miguel Peras, Oax.; IJO=Ixtlán de Juárez, Oax.; TPO=Tlacotepec Plumas, Oax.; MZO=Magdalena Zahuatlán, Oax., SMAO=San Miguel Aloapan, Oax.; RNC=Rancho Nuevo, Chis.

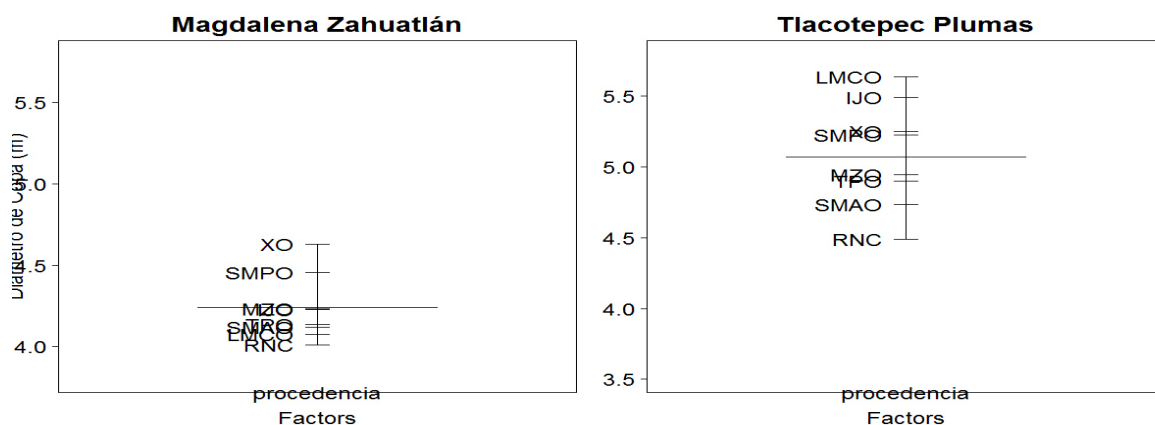


Figura 17. Variabilidad del Diámetro de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

2.4.2.2.5. Área de Copa

El área de copa no mostró diferencias significativas ($P>0.05$) entre bloques en ninguna localidad, mientras que las procedencias presentaron diferentes crecimientos en Tlacotepec Plumas, así como en el efecto bloque: procedencia. La procedencia que sobresalió en Magdalena Zahuatlán fue Xacañi, Oax. ($17.51 \text{ m}^2/\text{arb}$) y en Tlacotepec Plumas Los Molinos Capulalpam, Oax. ($27.28 \text{ m}^2/\text{arb}$); en último lugar fue Rancho Nuevo, Chis. en ambas localidades (13.58

m²/arb en Magdalena Zahuatlán y 16.80 m²/arb en Tlacotepec Plumas), como se muestra en el Cuadro 21 y Figura 18.

Cuadro 21. Valores promedios, error estándar, valores máximos y mínimos del área de copa de las procedencias de *Pinus oaxacana* evaluadas en las dos localidades de estudio.

Magdalena Zahuatlán					Tlacotepec Plumas				
Proc.	AC	std	Min.	Max.	Proc.	AC	std	Min.	Max.
XO	17.51	6.65	5.85	30.48	LMCO	27.28	17.50	9.90	70.14
SMPO	16.70	8.06	2.99	33.18	IJO	25.44	13.88	3.98	64.33
MZO	15.27	8.15	2.99	33.70	XO	22.41	7.80	7.79	35.26
IJO	15.09	8.56	3.80	34.73	SMPO	22.37	9.61	10.75	39.59
TPO	14.41	7.44	2.49	32.17	MZO	19.94	7.48	5.94	34.52
LMCO	14.39	8.53	0.79	32.67	TPO	19.67	7.94	6.38	31.21
SMAO	14.22	6.83	2.27	29.22	SMAO	19.20	10.37	2.01	36.85
RNC	13.58	7.19	3.14	27.30	RNC	16.80	8.10	4.91	33.18

Dónde: AC=Diámetro de Copa; std= error estándar; Min.=Valores Mínimos; Max. Valores Máximos; G= Grupos de crecimiento; LMCO= Los Molinos Capulalpam, Oax.; XO=Xacañí, Oax.; SMPO=San Miguel Peras, Oax.; IJO=Ixtlán de Juárez, Oax.; TPO=Tlacotepec Plumas, Oax.; MZO=Magdalena Zahuatlán, Oax., SMAO=San Miguel Aloapan, Oax.; RNC=Rancho Nuevo, Chis.

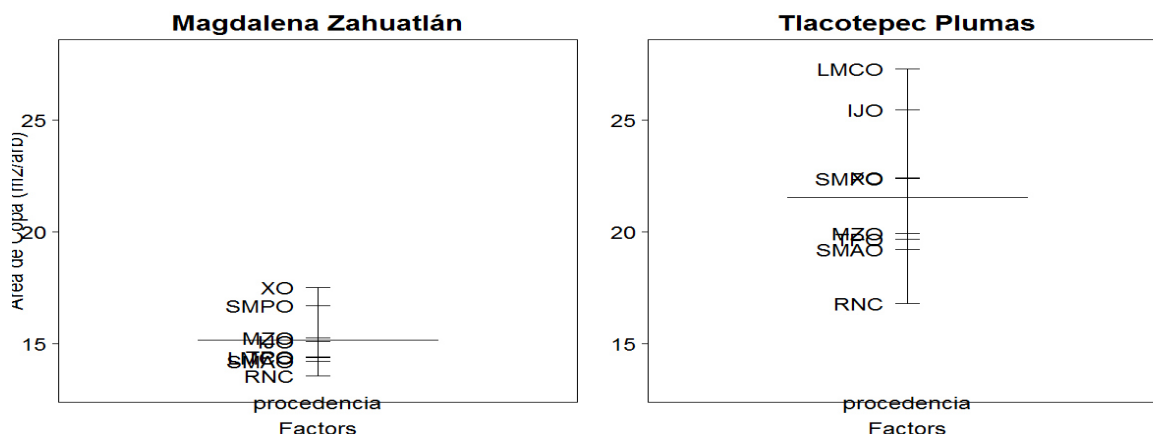


Figura 18. Variabilidad del área de copa promedio de las procedencias en las dos localidades evaluadas.

2.4.2.3. Análisis conjunto de las dos localidades

A continuación se presenta un análisis de las dos localidades en conjunto. No se obtuvieron diferencias en la mayoría de las variables dentro de los factores (Cuadro 22), las cuales se explican individualmente.

Cuadro 22. Tabla de probabilidades correspondientes a las variables evaluadas en *Pinus oaxacana* de las dos localidades en conjunto.

Factores	H(Pr(>F))	DB(Pr(>F))	DN(Pr(>F))	DC(Pr(>F))	AC(Pr(>F))
Localidad	0.30885	0.000954	0.00528	2.09e-09	1.47e-09
Procedencia	0.13538	0.192334	0.43011	0.112	0.075
Bloque	0.00104	0.084018	0.09313	0.69	0.563
Localidad*Procedencia	0.90662	0.775459	0.96959	0.488	0.221
Bloque**Localidad	0.00296	0.525413	0.49927	0.559	0.366

2.4.2.3.1. Altura

A 17 años de la plantación el crecimiento en altura fue significativo ($P < 0.05$) entre bloques e interacción de localidad: bloque, mientras que en el resto de los factores e interacción no presentaron diferencias, indicando que la adaptabilidad y crecimiento no fue diferente entre procedencias y entre localidades (Cuadro 23 y Figura 19). En promedio el mayor crecimiento entre localidades se presentó en Magdalena Zahuatlán (10.29 m vs 10.09 m). Sin tener diferencias entre procedencias, la que sobresalió fue Los Molinos Capulalpan, Oax. (10.76 m) y la menor fue San Miguel Aloapan, Oax., con 9.72 m,

Cuadro 23. Promedio de la altura y diámetro de *Pinus oaxacana* en las dos localidades a 17 años de la plantación.

Procedencia	Altura (m)	Diámetro Basal (cm)	Diámetro Normal (cm)	Diámetro de Copa (cm)	Área de Copa (m ²)
Ixtlán de Juárez, Oax.	10.13	20.70	16.82	4.82	20.01
Los Molinos, Capulalpan, Oax.	10.76	20.61	16.75	4.78	20.22
Magdalena Zahuatlán, Oax.	10.15	21.12	17.10	4.57	17.22
Rancho Nuevo, Chis.	9.75	18.52	15.05	4.24	15.19
San Miguel Aloapan, Oax	9.75	19.86	15.99	4.45	16.96
San Miguel Peras, Oax	10.57	20.84	16.99	4.79	19.22
Tlacotepec Plumas, Oax.	10.08	20.02	16.45	4.47	16.73
Xacañi, Oax.	10.35	21.50	17.39	4.94	19.96

2.4.2.3.2. Diámetro Basal

El crecimiento en diámetro basal únicamente presentó diferencias significativas ($P<0.05$) entre localidades. La que presentó mayor crecimiento fue Tlacotepec Plumas (21.37 cm vs 19.50 cm). Entre bloques y procedencias no existen diferencias ni evidencias de efecto de interacción entre sitio: procedencia y/o localidad: bloque. La procedencia que mayor crecimiento presentó es Xacañi, Oax. (21.50 cm) y el menor Rancho Nuevo Chis., con 18.52. cm (Cuadro 23 y Figura 19).

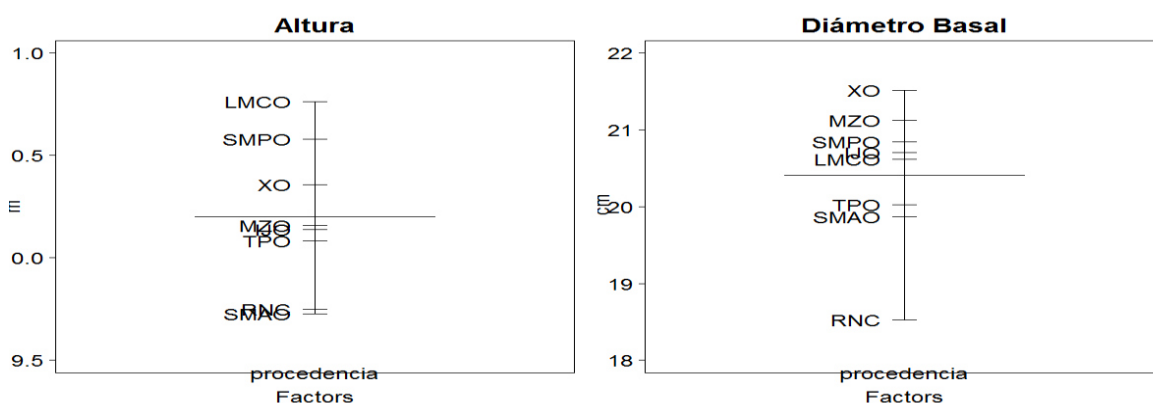


Figura 19. Variabilidad de la altura y diámetro basal promedio de las dos localidades evaluadas.

2.4.2.3.3. Diámetro Normal

El crecimiento del diámetro normal presentó diferencias significativas ($P<0.05$) entre localidades; el mayor crecimiento se presentó en Tlacotepec Plumas (17.36 cm vs 15.85 cm), y en los crecimientos entre procedencias y bloques no existen diferencias, así en la interacción de los factores. La procedencia que presentó un mayor crecimiento es Xacañi, Oax. (17.39 cm) y en última posición Rancho Nuevo, Chis. con 15.05 cm. (Cuadro 23 y Figura 20).

2.4.2.3.4. Diámetro de Copa

El diámetro de copa presentó variación estadística en el crecimiento ($P<0.05$) entre localidades, donde Tlacotepec Plumas presentó mayor crecimiento en promedio del diámetro de copa con 5.07 m vs 4.23 m; las procedencias no presentaron diferencias, sin embargo la mayor fue Xacañi,

Oax. (4.94 m) y en último Rancho Nuevo, Chis. con 4.24 m (Cuadro 23 y Figura 20). El menor crecimiento en Magdalena Zahuatlán se debe probablemente a que los individuos presentaron crecimientos en altura, diámetro basal y diámetro de copa semejantes propiciando mayor competencia por espacio, limitando el crecimiento de la copa.

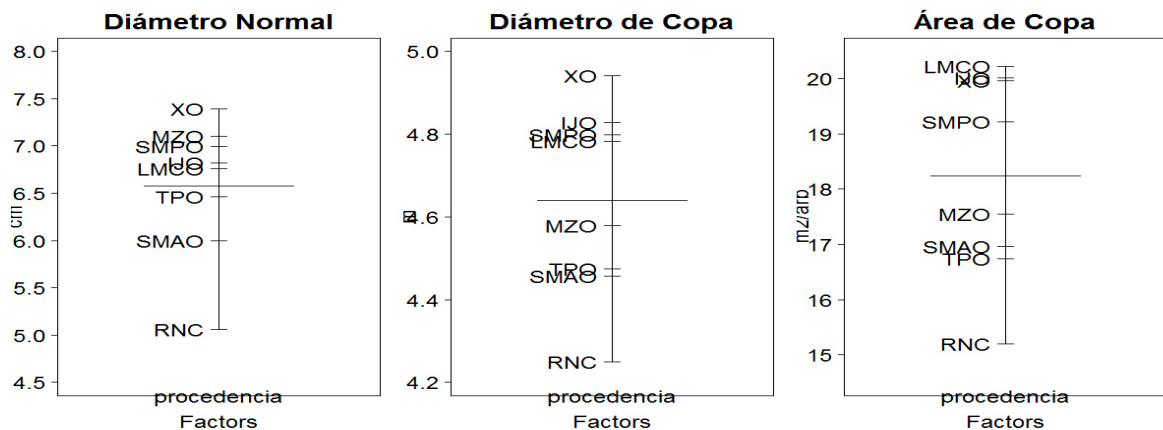


Figura 20. Variabilidad del diámetro normal, diámetro de copa y área de copa promedio de las dos localidades evaluadas.

2.4.2.3.5. Área de Copa

El área de copa presentó variación del crecimiento ($P < 0.05$) entre localidades; Tlacotepec Plumas presentó la mayor área de copa (21.54 m²/arb vs 15.1 m²/arb). De igual manera en las procedencias no existe diferencia en el crecimiento, sin embargo sobresalió Los Molinos Capulalpam, Oax. (20.22 m²/arb) y en último fue Rancho Nuevo, Chis. con 15.19 m²/arb (Cuadro 23 y Figura 20). La mayor cobertura de la localidad mencionada probablemente se debió al mayor porcentaje de mortalidad en Tlacotepec Plumas, lo cual influyó en la presencia de espacios entre árboles y por lo tanto menor competencia, lo que favoreció un mayor crecimiento del diámetro de copa.

Los resultados obtenidos en este estudio fueron superiores a los reportados por Bautista (2011) en dos localidades de la Mixteca Oaxaqueña (San Pedro Añãne y Nochixtlán), donde presentaron una altura <10 m, diámetro normal <15 cm, diámetro basal <20 cm a 16 años de la plantación, o los obtenidos por Ortiz (2012) en Magdalena Peñasco, Oaxaca, con un diámetro de copa de 4.3

m/árbol, 8.8 m en altura, 14.3 cm en diámetro normal en plantaciones de 17 años, y coincidiendo con López (2012) al encontrar que no hay efecto de interacción entre localidad y procedencia.

Esta especie al ser nativa de la región presentó mayores crecimientos que la especie introducida, debido a su buen desarrollo en diámetro de copa y área de copa, por lo que aporta mayor acumulación de materia orgánica al suelo como lo indican López y Sánchez (2014); la mayor cobertura de la procedencia Los Molinos Capulalpam, Oax. influye a que sea la que aporte la mayor materia orgánica como lo indican los mismos autores.

2.4.2.4. Análisis de correlación

Mediante la correlación de Pearson se observa una correlación significativa ($P < 0.05$) entre variables, la cual es alta y mayormente positiva; la altura, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa tuvieron una relación inversa con la altitud, temperatura y precipitación, indicando que las procedencias de menor altitud, mayor precipitación como es el caso de Rancho Nuevo, Chis. sus crecimientos fueron menores (Cuadro 24).

Cuadro 24. Correlación de las características descriptivas del lugar de origen de las procedencias de *Pinus oaxacana* con las variables evaluadas en dos sitios de plantación.

	msnm	Temp.	Pptn.	pH	Alt.	DB	DN	DC	AC
msnm	1	0.94	0.81	0.02	-0.99	0.43	-0.83	-0.99	-0.49
Temp.	*	1	0.76	0.03	-0.94	0.45	-0.77	-0.97	-0.41
Pptn.	*	*	1	-0.26	-0.81	0.18	-0.79	-0.83	-0.33
pH	n/s	n/s	n/s	1	0	0.21	0.11	0.02	-0.21
Alt.	*	*	*	n/s	1	-0.32	0.9	0.99	0.58
DB	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	1	0.13	-0.37	0.48
DN	*	*	*	n/s	*	n/s	1	0.87	0.82
DC	*	*	*	n/s	*	n/s	*	1	0.52
AC	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	n/s	*	n/s	1

2.4.2.5. Supervivencia

La supervivencia evaluada presentó diferencias significativas ($P=0.05$) entre localidades, lo que no sucedió entre procedencias. La supervivencia en Magdalena Zahuatlán fue de 92.03 % y en Tlacotepec Plumas fue de 84.10 %; comparado con la supervivencia obtenida por Gómez *et al.* (2013) hubo una mortalidad de 3.27 % en Magdalena Zahuatlán y 2.9 % en Tlacotepec Plumas en un periodo de 2 años. En conjunto la procedencia con mayor supervivencia es Tlacotepec Plumas (94.47 %), mientras que Ixtlán de Juárez, Oax. fue el menor con 84.48%.

En cada localidad las procedencias establecidas presentaron diferencias significativas. En Magdalena Zahuatlán la supervivencia mayor fue Tlacotepec Plumas, Oax. (100 %) y la menor en San Miguel Aloapan, Oax. (83.2 %), en Tlacotepec Plumas fue lo contrario, ya que la mayor fue San Miguel Aloapan, Oax. (91.65%) y la menor Tlacotepec Plumas, Oax., Los Molinos Capulalpan, Oax. e Ixtlán de Juárez, Oax. con 79.11%.

Las variaciones en el crecimiento en las procedencias según Pardo (1988) pueden deberse a las diferencias genéticas entre las procedencias, diferencias genéticas entre los individuos de cada procedencia, diferencias de medio entre las zonas de la misma parcela y errores experimentales cometidos durante la instalación de las parcelas o su medición, así también cuanto más cerca están las procedencias a la población original menor será la variación, por lo tanto influye mucho la variación geográfica discontinua de las procedencias y especies al presentar adaptación diferente, principalmente entre las especies y entre las variedades de *Pinus greggii*, así también influyó la variación continua del gradiente geográfico, es decir, las procedencias de norte del país presentaron diferencias a las del centro (considerando la altitud donde se obtuvo las semilla de las procedencias), Varios autores afirman que las procedencias que se distribuyen en latitudes altas y elevadas altitudes tienen un crecimiento lento, mientras que las que se distribuyen en elevaciones bajas y latitud baja tienen un crecimiento más rápido, además de desarrollar grandes ramas (Pardo, 1988)

En *P. oaxacana* probablemente influyó la variación ecotípica debido a la diversidad del suelo en la que se distribuye naturalmente; es decir, las procedencias de la Sierra de Oaxaca presentaron diferencias con las procedencias de La Mixteca (Las condiciones del suelo son diferentes por el grado de erosión que presenta la Mixteca), lo cual no es muy visible por el resultado sin diferencias significativas en el crecimiento.

De igual manera existe la posibilidad de la influencia de la condición del suelo del lugar donde se distribuyen naturalmente las procedencias con el lugar donde fueron establecidas, por lo tanto se puede deducir una interacción de genotipo x ambiente, ya sea por el cambio de suelo de lugar donde se distribuye naturalmente al lugar donde se plantaron, sin embargo se observó un efecto de interacción en el crecimiento de las procedencias en cada localidad como lo mencionan White *et al.* (2007), al existir variación de crecimiento entre localidades. Pardos (1988) mencionan que no deben plantarse árboles cuyas semillas proceden de masas situadas en suelos básicos, en zonas con suelos alcalinos o viceversa, ya que hay una interacción entre procedencias: suelo alcalinos, así como suelos arenosos y suelos arcillosos.

2.5. CONCLUSIONES

2.5.1. *Pinus greggii*

A 17 años de la plantación *Pinus greggii* presentó mayor supervivencia en la localidad de Tlacotepec Plumas 95.9%.

En ambas localidades los crecimientos en altura, diámetro basal, diámetro normal, diámetro de copa y área de copa fueron diferentes de acuerdo a la variedad, la var. *greggii*, distribuida naturalmente en el norte del país presentó menores crecimientos que la var. *australis* distribuidas en el centro.

Las procedencias con mejores crecimientos en ambos sitios son El Madroño, Qro. y el Piñón, Hgo., mostrando la superioridad de las procedencias del centro del país (var. *australis*) en comparación a las del norte (var. *greggii*).

La localidad Tlacotepec Plumas reflejó mayor potencial en el desarrollo de las procedencias, indicando mejores condiciones del sitio.

Es conveniente emplear semillas de procedencias del centro del país para reforestaciones posteriores, ya que al presentar mayor crecimiento, protegen en mayor grado al suelo de la erosión.

2.5.2. *Pinus oaxacana*

A 17 años de la plantación *Pinus oaxacana* presentó mayor supervivencia en la localidad de Magdalena Zahuatlán (92.03%).

Los crecimientos en altura, diámetro basal, diámetro normal y diámetro de copa fueron similares entre procedencias y localidades, sin embargo, en Magdalena Zahuatlán se presentó mayor crecimiento en altura, mientras que en Tlacotepec Plumas se obtuvo mayor crecimiento en diámetros.

Considerando que el mayor interés de la región de estudio es la protección del suelo contra la erosión, al tener *Pinus oaxacana* mayor crecimiento de diámetro de copa y por lo tanto mayor área de cobertura, es preferible utilizar esta especie en futuras plantaciones, además de ser una especie nativa de la región, siendo la procedencia Los Molinos Capulalpam, Oax. la recomendada por la cobertura que desarrolla otorgando mayor protección al suelo.

Es conveniente convertir los ensayos de procedencias a huertos semilleros mediante programas de aclareos, seleccionando fenotípicamente los arboles de mejor desarrollo.

2.6. LITERATURA CITADA

Alía, R., R. Galera, S. Martín, D. Agundez, J. de Miguel y S. Iglesias. 1999. Mejora genética y masas productoras de semillas de los pinares españoles. INIA, Madrid, España.

Álvarez, T. M.F. M. Barrio A., J. Gorgoso V. y J.G. Álvarez G. 2003. Influencia de la competencia en el crecimiento en sección en *Pinus radiata* D. Don. Universidad de Santiago Compostela. España. Revista Invest. Agrar: Sist. Recur. For. 12(2): 25-35.

Azamar O. M., López U. J., Vargas H. J. J. y Plancarte B. A. 2000. Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero. In: 1er Congreso Nacional de Reforestación. Colegio de Posgraduados. PRONARE-SEMARNAP. Texcoco, Estado de México. México.

Balboa, M. M. A. 2005. Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus rubur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Santiago de Compostella. Lugo. España.

Bautista, C. A. 2011. Relaciones alométricas de *Pinus greggii* y *Pinus oaxacana* establecidas en diferentes condiciones del suelo en San Pedro Añaña y Nochixtlan, Oaxaca. Tesis de licenciatura. ITSMIGRA, San Miguel el Grande, Oaxaca.

Benavides U., G., J. de D. Benavides S., A. Rueda S. y M. Silva L. 2005. Evaluación del crecimiento de seis especies tropicales de rápido crecimiento en la Huerta Jalisco. En: VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales 26–28 de Octubre de 2005. Chihuahua, México. 2 p.

Belzarini, M. R. E. Machiavelli y F. Casanoves. 2005. Aplicación de Modelos Mixtos en la Agricultura y Forestería. CATIE, Costa Rica.

Cancino J. 2006. Dendrometría Básica. Edición Concepción, Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento manejo de bosques y medio ambiente. 171 P.

Carbonell, A. E. 1995. Diseño de Experimentos: Aplicación a la Agricultura. Lugo, España.

Cárdenas, R. J.A. 2011. Diseño y establecimiento de una prueba de progenie de *Pinus oaxacana* Mirov procedente del Ejido Los Molinos, Perote, Veracruz, Tesis de Licenciatura. Veracruz.

Cardoza V. R., L. Cuevas F., J. S. García C., J. A. Guerrero H., J. C. González O., H. Hernández M., M. L. Lira Q., J. L. Nieves F., D. Tejeda S. y C.

M. Vásquez M. 2006. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. CONAFOR. México.

Correa, L. G. 2004. Análisis de Medidas Repetidas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia.

Carrero, O., M. Jerez, R. Macchiavelli, G. Orlandoni y J. Stock. 2008. Ajuste de curvas de índice de sitio mediante modelos MixtIs para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Venezuela. Revista Interciencia 33(4):265-272.

Castellanos B. J. F. y Ruíz M. M. 1993. Introducción de *Pinus greggii* Engelm. en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Folleto de Investigación. No. 1. INIFAP. Yanhuatlán, Oaxaca. México. 20 p.

Centro de Desarrollo Integral Campesino de la Mixteca (CEDICAM). 2007. Mejoramiento de los esfuerzos de conservación de suelos y reforestación. 12 p.

Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2013. Características e impacto socioeconómicos de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2012.

Cigarrero C. C. 1994. Evaluación temprana de seis procedencias y 108 familias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades del Estado de México. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 65 p.

Climent, J. M., L. Gil, E. Pérez y J.A. Pardos. 2002. Efectos de la procedencia en la supervivencia de plántulas de *Pinus canariensis* SM. En medio árido. Madrid, España. Invest. Agro.: Sist. Recur. For. 11(1)

CONAFOR, 2009. Restauración de ecosistemas forestales. Guía básica para comunidades. México

Contreras H. J., V Volke H., J. Oropeza M., C. Rodríguez F., T. Martínez S., A. Martínez G. 2005. Reducción del rendimiento de maíz por la erosión del suelo en Yanhuatlán, Oaxaca, México. Revista Terra Latinoamericana 23 (3): 399-408.

Contreras, H. J. R., V. Volke H., J. L. Oropeza M., C. Rodríguez F., T. Martínez S. y Martínez G. 2003. Estado actual y causas de la degradación de

los agostaderos en el municipio de Yanhuitlán, Oaxaca. Revista Terra Latinoamericana 21 (03): 427-435.

Corvalán V, P. y J. Hernández P. 2006. Calidad de sitio. Cátedra de Dasometría. Facultad de Ciencias forestales. Depto. Manejo de recursos forestales. Universidad de Chile. 9 p.

Creciente C, F. 2008. Modelo de crecimiento de árboles individuales para *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Universidad de Santiago de Compostela. Tesis doctoral. Lugo.

Danida Forest Seed Centre (DFSC). 1995. Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. CETIE, Turrialba, Costa Rica.

Diéguez, A. U., A. Rojo A., F. Castedo D., J.G. Álvarez G., M. Barrio A., F. Creciente C., J.M. González G., C. Pérez C., R. Rodríguez S., C.A. López S., M.Á. Balboa M., J.J. Gorgoso V. y F. Sánchez R. 2009. Herramientas selvícolas para la gestión forestal sostenible en Galicia. Dirección Xeral de Montes, Consellería do Medio Rural, Xunta de Galicia.

Diéguez, A. U., M. Barrio A., F. Castedo D., A. D. Ruíz G., M.F. Álvarez T., J. G. Álvarez G. y A. Rojo A. 2003. Dendrometría. Ediciones mundi-prensa. España.

Donahue, J. K. y J. López U. 1996. Geographic variation in leaf, cone and seed morphology of *Pinus greggii* in native forests. Forest Ecology and Management 83 (1-3): 145-157.

Duran, M. J., P. J. Donoso H. y M. A. Quintero M. 2005. Efectos de cortas de selección en el crecimiento de brizales de especies tolerantes latifoliadas: análisis estadísticos usando modelos lineales mixtos. Revista Bosques 26(2): 7-15.

Dvorak, W. S. J. E. Kietzka and J. K. Donahue. 1996. Three year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropic and subtropics. Forest Ecology and Management 83 (1-2): 123-131.

FAO. 2007. Situación de los bosques del Mundo 2007. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 143 p.

Fita, F. A. M., A. Rodríguez B y J. Prohens T. Genética y Mejora Vegetal. 2008. Editorial de la UPV, Valencia, España.

Gadow, K. V., S. Sánchez O., J.G. Álvarez G., 2007. Estructura y Crecimiento del Bosque. ISBM: 978-84-690-7535-7. IUFRO World Series.

Gernandt, D. S. y J. A. Pérez R. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (Coníferas) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85 (1): 126-133.

Gómez, S. V. Torres, Y. García y J. A. Navarro. 2012. Procedimientos estadísticos más utilizados en el análisis de medidas repetidas en el sector agropecuario. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(1): 1-7

Gómez, C. M., J. R. Contreras H., H. M. Muñoz F., M. Martínez S., J. F. Castellanos B., y F. Becerra L. 2013. Efectos del sitio en el crecimiento de procedencias de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en tierras degradadas de Oaxaca. Memoria: VII Reunión Nacional de Innovación Forestal. Veracruz, México.

Gómez, K. A. y A. A. Gómez. 1984. Statistical Procedures for Agricultural Research. John Wiley and sons, Inc.

Guerrero, A. R., E. Jiménez H. y H. Santiago R. 2010. La transformación de los ecosistemas de la Mixteca oaxaqueña desde el Pleistoceno Tardío hasta el Holoceno. Revista Ciencia y Mar 14 (40): 61-68.

Gutiérrez, V, B. N., E. H. Cornejo O., A. Zermeño G., S. Valencia M., R. Mendoza V. 2010. Conversión de un ensayo de progenie de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante eigen-análisis. México. Bosque 31(1):45-52.

Guzmán S. J.C. 2015. Relación altura-diámetro para *Pinus greggii* Engelm. y *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* Lindley Shaw en dos localidades de la Mixteca Oaxaqueña. Tesis de Maestría, ITS, Durango.

Imaña, E. J.; O. Encinas B. 2008. Epidometría Forestal. Brasilia. Universidad de Brasilia: Departamento de ingeniería Forestal. Mérida: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales.

Kiviste, A., Álvarez G. J. G. Rojo A. A. y Ruíz G. A. 2002. Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal. Ministerio de Ciencia y

Tecnología. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España.

Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Uach. México.

Liu, J. y P. S. Ashton. 1995. Individual-based simulation models for forest succession and management. *Forest Ecology and Management*. 73:157-175.

López O, M. y R.B. Sánchez G. 2014. Carbono orgánico e inorgánico en suelos de plantaciones de *Pinus greggii* Engelm y *Pinus oaxacana* Mirov en Magdalena Zahuatlán y Tlacotepec Plumas, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. UAIM. Sinaloa.

López, A. J. L. 1998. Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento en altura del brote terminal en *Pinus greggii* Engelm. Tesis de Licenciatura. UNAM. México. 62 p.

López, O. B. L. 2012. Carbono orgánico e inorgánico en el suelo en plantaciones de dos especies de pino (*Pinus oaxacana* Mirov y *Pinus greggii* Engelm.) de diferentes edades en Magdalena Zahuatlán, Oaxaca. Tesis de licenciatura. ITSMIGRA. San Miguel El Grande Oaxaca.

López, U. J. C. Ramírez H, O. Plascencia E. y J. Jasso Mata. 2004. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. *Revista Agrociencia* 38(4):457-464.

Mas P. J., García M. J. J. y Cervantes S. M. A. 1995. Ensayos de especies y procedencias de árboles en el Campo Experimental Forestal " Barranca de Cupatitzio". *Cien. For. en Méx.* 20 (78):111-142.

Mendiburu F. 2015. Statistical Procedures for Agricultural Research. Package versión 1.2-3

Moreno, H. P. 2005. Gran Atlas de México: Una visión desde el espacio. Editorial Planeta Mexicana. México.

Muñoz, F. H. J., G. Orozco G., V. M. Coria A., J. J. García S., Y. Y. Muñoz V. y G. Salvador C. 2011. Evaluación de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. con dos densidades de plantación en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 13(1): 29-35.

Ochoa, O. L. M. y O. A. Flores V. 2006. Áreas de Diversidad y Endemismo de la Herpetofauna Mexicana. UNAM-CONABIO, México, D.F.: 211 PP.

Ortiz, M. R. 2012. Adaptación ecológica y crecimiento de *Pinus devoniana* Lindley y *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindley Shaw en Magdalena Peñasco, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. ITSMIGRA, Oaxaca, México.

Pardos, 1988. Mejora Genética de Especies Arbóreas Forestales. 1988. Madrid, España.

Peña, D. 2002. Regresión y diseño de experimentos. Alianza editorial. Madrid, España.

Perry Jr. J. P. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregón.

Pinheiro, J. C., y D. M. 2000. Bates. Mixed-effect Models in S and S-PLUS. Springer.

Ramírez, H. C., J. J, Vargas H., J. Jasso M., G. Carrillo C. y H. Guillén A. 1997. Variación isoenzimática en diez poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Revista Agrociencia 31(2): 223-229.

Rodríguez, L. R., J. Meza R., J. Vargas H. y J. Jiménez P. 2009. Variación en la cobertura de suelo en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en el cerro El Potosí, Galena, Nuevo León, México. Revista Madera y Bosque 15(1):47-59.

Rodríguez, L. R., R. Razo Z., S. Valencia M. y J. Meza R. 2013. Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm ex Parl. var. *greggii* de nueve procedencias en Galena, Nuevo León. Revista Mexicana Ciencias Forestales 4(18): 116-125.

Rodríguez, L. R., S. Valencia M., J. Meza R., M. A. Capó A. y A. Reynoso P. 2008. Crecimiento y características de la copa de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en Galeana, Nuevo León. Rev. Fitotec. Mex. 31 (1): 19-26.

Ruiz A, V. 2002. Ensayo de procedencia de *Pinus oaxacana* Mirov en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Saltillo. Coahuila.

Ruiz M. M., M. Gómez C., J. F. Castellanos B. y A. M. Fierros G. 1998. Selección de procedencias de *Pinus oaxacana* y *Pinus greggii* para la

protección y restauración de suelos en la Mixteca Alta Oaxaqueña. Informe final. INIFAP. Oaxaca, México. 92 p.

Ruiz, A. V., M. Gómez C., S. Valencia M. y E. H. Cornejo O. 2003. Ensayo de procedencias de *Pinus oaxacana* Mirov. en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca.

Sáenz, R. J. T., H. J. Muñoz F. y A. Rueda S. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico Número 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan, Michoacán. México. 213 p.

Salazar, G. J.G., J.J. Vargas H., J. Jasso M., J.D. Molina G., C. Ramírez H., J. López U. 1999. Variación en el patrón del crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. Madera y Bosques 5(2):19-34.

Salazar, R., y D. Boshier. 1989. Establecimiento y manejo de rodales semilleros de especies forestales prioritarias en América Central. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido. Serie Técnica: Informe Técnico No. 148. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Salvador C. G. 2006. Evaluación de una plantación de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus greggii* con dos espaciamiento en terrenos de la Comunidad Indígena de San Lorenzo, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Uruapan, Michoacán 56 p.

Sarkar D. 2015. Trellis Graphics for R. Package version 0.20-33

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Informe de la situación del Medio Ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales indicadores clave y de desempeño ambiental.

Torres R., J. M. y O. S. Magaña T. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa y Grupo Noriega editores. México D.F. 472 p.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Instituto de biología, UNAM. México.

Valencia M, S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruiz M. y M.A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencia de *P. greggii* en dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca. México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29(1):27-32.

Vega, C. J. L. 2006. Atlas Universal y de México. Macmillan Castillo, México. 143 pp.

Velasco G, M. V. 2001. Ensayo de 13 procedencias de *Pinus greggii* Engelm en dos localidades de la Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Saltillo. Coahuila.

Velasco, V. V. A., J. R. Enríquez V., G. Rodríguez O., G. V. Campos A., M. Gómez C. y M. L. 2012. Evaluación de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex. Parl. en plantaciones de la Mixteca Oaxaqueña. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 3(9): 41-50.

Villegas, J. D. E., G. Rodríguez O., V. A. Velasco V., J. Ruiz L., J. C. Carrillo R. y S. E. Ramírez S. 2013. Partición de biomasa aérea en procedencias de *Pinus greggii* plantadas en el sur de México. Rev. Fitotec. Mex. 36 (4): 421-427.

White, T. L., W. T. Adams y D. B. Neale. 2007. Forest Genetics. CAB International, London. UK.

Zar, H. J. 1999. Biostatistical Analysis. Fourth edition. Prentice Hall. United States of America.

Zitácuaro, C. F.H, y Aparicio-Rentería A. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. Foresta Veracruzana 6(001): 21-26.